

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
und dem Tropeninstitut
der Justus Liebig-Universität Gießen
Abt.: Bodenkunde und Bodenerhaltung
Abt.-Leiter: Professor Dr. L. Jung

**Pedogenetische Prozesse
auf sandigen Lockersedimenten im Raum Gießen
unter besonderer Berücksichtigung der
Mobilisierung der Sesquioxide durch die
organische Substanz**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Laith Khalil Ismail
aus Mosul / Irak

Gießen 1970

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
und dem Tropeninstitut
der Justus Liebig-Universität Gießen
Abt.: Bodenkunde und Bodenerhaltung
Abt.-Leiter: Professor Dr. L. Jung

**Pedogenetische Prozesse
auf sandigen Lockersedimenten im Raum Gießen
unter besonderer Berücksichtigung der
Mobilisierung der Sesquioxide durch die
organische Substanz**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Laith Khalil Ismail
aus Mosul / Irak

Gießen 1970

Dekan: Prof. Dr. R. Waßmuth

1. Berichterstatter: Prof. Dr. L. Jung

2. Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. H. -U. Preuß

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juli 1970



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Beschreibung der Untersuchungsgebiete der Profile und Untersuchungsmethoden	2
2.1 Klima	2
2.2 Ausgangsmaterial	4
2.3 Beschreibung der Profile	5
2.4 Untersuchungsmethoden	13
3. Kennwerte	16
3.1 Kornzusammensetzung der Feinböden	16
3.2 Die Kationenaustauschkapazität	21
3.3 Austauschbare H-Ionen, Basensättigung und Bodenreaktion	22
3.4 Kationennachlieferung	24
4. Organische Substanz	25
4.1 Organische Ausgangsstoffe	25
4.1.1 Standortfaktoren	26
4.2 Humusaufgabe	27
4.2.1 Organische Substanz der Mineralböden	28
4.3 Huminstoffe	31
4.3.1 Säurelösliche organische Verbindungen	32
4.3.2 Gesamt-Fulvosäuren	34
4.3.3 Huminsäuren	37
4.4 Stickstoff und C/M-Verhältnis	42
5. Die chemische Zusammensetzung der Feinböden	43
5.1 Die Gesamtgehalte an Oxiden	43
5.1.1 Eisenoxide	43
5.1.2 Aluminiumoxide	44
5.1.3 Kieselsäure	47
5.1.4 Molekularverhältnisse	47

	Seite
5.2 Die freien Oxide	50
5.2.1 Freie Eisenoxide (Fe_d)	51
5.2.1.1 Kristalline freie Eisenoxide	56
5.2.1.2 Amorphe Eisenoxide	58
5.2.1.3 Der Aktivitätsgrad	61
5.2.1.4 Eisen, löslich in 0,05n Schwefelsäure	63
5.2.1.5 Eisen der Elektro-Ultra-Filtration	67
5.2.2. Freie Aluminiumoxide	69
5.2.2.1 NaOH-lösliche Aluminiumoxide	69
5.2.2.2 H_2SO_4 -lösliche Aluminiumoxide	72
5.2.3 Freie Kieselsäure	75
5.2.4 Molekularverhältnisse	77
5.3 Die gebundenen Oxide	78
5.3.1 Silikatisch gebundenes Eisen	78
5.3.2 Silikatisch gebundenes Aluminium	80
5.3.3 Gebundene Kieselsäure	81
5.3.4 Molekularverhältnisse	81
6. Organische Substanz und pedogene Oxide	82
7. Diskussion	96
8. Zusammenfassung	118
9. Literaturverzeichnis	125

1. Einleitung

Unter "Bodenentwicklung" verstehen SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL die Umwandlung des an der Erdoberfläche dem Einfluß der Atmosphärien und Organismen ausgesetzten Ausgangsgesteins zu einem System, das sich durch Neubildung bestimmter Stoffe und zum Teil durch Verlagerungsvorgänge auszeichnet, die eine Differenzierung im Bodenprofil bewirken. Die während der Bodenbildung und Bodenentwicklung ablaufenden Prozesse werden von den jeweiligen Faktoren, u.a. des Bodensubstrats entsprechend seiner geologischen Herkunft, des Klimas und der Bodenwasserverhältnisse, des Reliefs, der früheren und jetzigen Vegetation sowie der Kulturmaßnahmen des Menschen gesteuert. Zu den Prozessen der Bodenbildung sind die Umwandlungen des geologischen Substrates, die Verlagerung verschiedener Bodenbestandteile sowie die Bildung der Huminstoffe zu nennen. Die Eigenschaften des Bodens und sein Erscheinungsbild ist das Ergebnis der Wechselbeziehungen zwischen den Faktoren und den Prozessen der Bodenentwicklung.

Die untersuchten Bodenprofile sind aus dem Raum Gießen entnommen worden. Dieses Gebiet ist mit mehreren unterschiedlichen Sedimenten bedeckt. Die tertiären Lockersedimente, z.T. als Quarzit verfestigt, treten im Raum Gießen am Hangelstein bei Daubringen, in der Sandgrube Gröbner und im Gießener Stadtwald als Sande, als Sand-Ton-Schichtserie (Gail'sche Serie) im Staatsforst westlich des Schiffenberges auf.

Es ist das Ziel der durchgeführten Untersuchungen, die pedogenetischen Prozesse aus diesen und anderen tertiären Lockersedimenten bis zum derzeitigen Stand aufzuzeigen. Besonders berücksichtigt wurde der Einfluß der leichtlöslichen organischen Verbindungen auf die Freisetzung und die Verlagerung der Sesquioxide.

Zum Vergleich wurde die Bodenbildung aus Löß (Profil Ilbenstadt) und aus Schotter der Lahnterrasse (Profil Hangelstein II) untersucht.

2. Beschreibung der Untersuchungsgebiete, der Profile und Untersuchungsmethoden

2.1. Klima

Die wirksamsten Kräfte des Klimas im Hinblick auf die Bodenentwicklung sind die Niederschläge, die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur.

Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) beherrscht das Klima oft die Vorgänge der Bodenentwicklung so stark, daß alle anderen Faktoren der Bodenentwicklung fast völlig zurücktreten und sogar der Einfluß des Ausgangsmaterials gänzlich überdeckt wird.

Menge und Verteilung der Niederschläge sowie der Temperatureingang im Verlauf des Jahres wirken sich nach FIEDLER und REISSIG (1964) entscheidend auf die Bodenbildung aus.

Nach KUNDLER (1961) ist das Verhältnis zwischen Niederschlag und Verdunstung sowie die Strahlungsbilanz innerhalb des komplexen Faktors Klima von ausschlaggebender Bedeutung.

Die Profile Gröbner, Hangelstein I und II, Am Gießener Stadtwald und Schiffenberg liegen in der näheren Umgebung von Gießen. Zur klimatischen Kennzeichnung dieses Gebietes sei das Klimadiagramm von WALTER und LIETH (1964) für die Stadt Gießen angegeben (Abb. 1).

Für das Profil Daubringen, zwischen Gießen und Treis a.d. Lumda gelegen, werden die klimatischen Daten von Gießen und Treis a. d. Lumda, für das Profil Ilbenstadt, zwischen Bad Nauheim und Erbstadt, die der vorgenannten Orte herangezogen.

Tabelle 1: Klimatische Daten der Untersuchungsgebiete

	Höhe m u. N.N.	Jährliche durchschnittl. Temperatur °C	Durchschnittl. Niederschlag mm/Jahr
Gießen	163	8,8	619
Treis a.d. Lumda	196	8,5	643
Bad Nauheim	148	7,8	568
Erbstadt	155	9,0	608

Alle genannten Böden haben sich im Bereich des gemäßigten humiden Klimas entwickelt. Die Niederschlagsmenge verteilt sich fast gleichmäßig auf das ganze Jahr.

In allen angeführten Standorten zeigen die Monate Dezember, Januar und Februar ein mittleres Tagestemperaturminimum, das unter 0°C liegt; absolutes Tagesminimum unter 0°C kann auch in den Monaten März bis Mai und September bis November auftreten; die frostfreien Tage sind somit auf die Monate Juni bis August beschränkt.

Das mittlere tägliche Minimum des kältesten Monats beträgt in Gießen $-2,5^{\circ}\text{C}$ und in Bad Nauheim $-2,8^{\circ}\text{C}$, während das absolute Minimum mit $-28,8^{\circ}\text{C}$ in Gießen und $-22,9^{\circ}\text{C}$ in Bad Nauheim gemessen wurde.

Die Werte für Gießen und Bad Nauheim beruhen auf einer 40-50jährigen Beobachtungszeit. Für Treis a.d. Lumda und Erbstadt liegen Beobachtungen von 1891 bis 1955 vor.

GIESSEN (163 m)

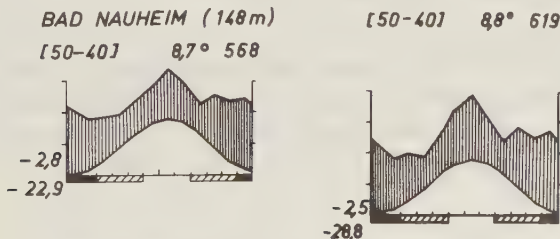


Abb. 1: Klimaverhältnisse von Gießen und Bad Nauheim nach WALTER und LIETH (1964)

2.2. Ausgangsmaterial

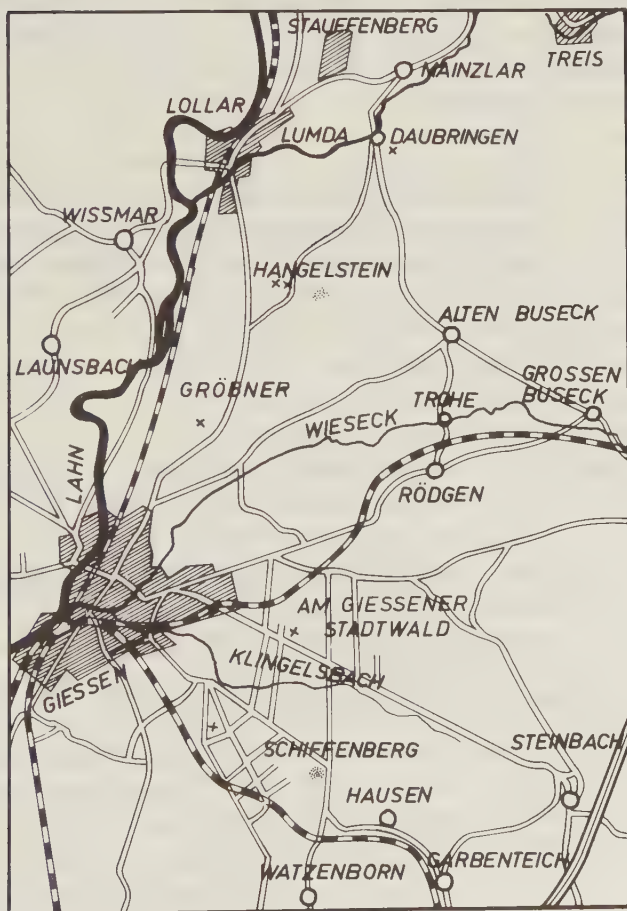
Durch seine mineralische Zusammensetzung, seine Körnung und sein Gefüge beeinflusst das Ausgangsmaterial die Richtung und die Geschwindigkeit der Bodenbildung.

Mit Ausnahme der Profile Hangelstein II und Ilbenstadt sind alle untersuchten Bodenprofile auf tertiären Sedimenten gebildet worden. Das Ausgangsmaterial der Profile Hangelstein II und Ilbenstadt ist Schotter der Lahnterrasse bzw. Löß. Abgesehen von dem Quarzit (das Ausgangsmaterial des Profils Daubringen) tritt das Tertiär an allen Untersuchungsorten in Form unverfestigter Sedimente auf. Die Quarzite sind nach PLANK (1910) und von FREYBERG (1926) (Zit. in WEYL, 1967) verfestigte Sande, in welchen die Quarzkörnchen durch kieseliges Bindemittel zementiert sind. Die Entstehung der Quarzite ist nach BLANCKENHORN (1950) durch Grundwassereinflüsse unter heißem Klima zu erklären (fossile Grundwasserstände). Der Quarzit von Daubringen wurde von SCHOTTLER (1913) ins Miozän gestellt. SCHENK (1961) dagegen datierte ihn als Unteroligozän.

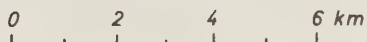
Der Boden der Profile Gröbner, Hangelstein I und Am Giebener Stadtwald ist aus mitteloligozänen Meeressanden hervorgegangen. Das Bodenprofil Schiffenberg hat sich aus dem Sand und Ton der Gail'schen Schichtserie bzw. aus den abgelagerten oberoligozänen Sanden und Tonen entwickelt. Die Tone der Gail'schen Schichtserie bestehen aus 53 % Kaolinit, 28 % Illit und 19 % Quarz (WEYL, 1967). Mit den Tonen wechsellagern Quarzsande und Kiese.

Das Ausgangsmaterial der Profile Ilbenstadt und Hangelstein II ist Lößlehm bzw. mitteloligozäne Schotter der Lahnterrasse. Die vorherrschenden Gerölle bestehen aus Lydit, Quarz, Quarzit und Eisenkiesel des Schiefergebirges sowie mürbe, meist gelbliche oder gebleichte Sandsteine (WEYL, 1967).

Abb. 2 : Lage der untersuchten Profile



Maßstab 1:100 000



2.3. Beschreibung der Bodenprofile

1.) Profil Daubringen

Lage: Am nordwestlichen Rande der Sandgrube ^{süd-}östlich von Daubringen (Abb. 2).

Topogr. Karte 1 : 25 000, Allendorf a.d. Lumda, 5318.

Rechtswert: 82.200

Hochwert : 12.450

Höhe : 205 m ü. N.N.

Relief : Schwach geneigt (Gef. 4 - 5 %)

Vegetation: Grasvegetation unter Mischwald (92jähr. Eichen- und Fichtenbestand und 56jähr. Buchen).

Ausgangsgestein: Quarzit

Mittlere Jahrestemperatur: 8,5 - 8,8°C

Mittlerer Jahresniederschlag: 619 - 643 mm

Bodentyp: Podsol - Braunerde.

Tiefe

1 cm	O ₁	Fichtennadeln und Eichen- u. Buchenlaub des letzten Jahres, teilweise dunkel verfärbt.
1 cm	O _{fh}	Schwarzbraun (10 YR 2/2) ± zersetzte Nadel- und Laubreste; Moder. Begrenzung deutlich und gerade.
0- 4 cm	A _{he}	Mäßig humoser, stark durchwurzelter schluffiger Sand; trocken: hellbräunlich-grau (10 YR 6/2), feucht: dunkel gelblich-braun (10 YR 3/4); Einzelkorngefüge, durchlässig; Begrenzung undeutlich.
4-22 cm	B _{sv}	Schwach humoser, schwach durchwurzelter schluffig-lehmiger Sand; trocken: sehr fahlbraun (10 YR 7/4), feucht: gelblich-braun (10 YR 5/6); steinhaltig (Quarzit).

2.) Profil Gröbner

Lage: Westlich der Straße Gießen - Lollar (Abb. 2)

Topogr. Karte 1 : 25 000, Allendorf a.d. Lumda, 5318.

Rechtswert: 72.250

Hochwert : 08.100

Höhe : 185 m ü.N.N.

Relief : Kleine Mulde

Vegetation: Grasvegetation.

Ausgangsgestein: Mitteloligozäne Meeressande.

Mittlere Jahrestemperatur: 8,8°C

Mittlerer Jahresniederschlag: 619 mm

Bodentyp: Bodenbildung auf tertiären Ton-Eisen-Sandbändern,
schwach podsoliierte Braunerde.

Tiefe

- | | | |
|----------|---|--|
| 0-10 cm | A _h | Mäßig humoser, stark durchwurzelter Sand;
trocken: hell bräunlichgrau (10 YR 6/2),
feucht: sehr dunkel gräulichbraun (10 YR
3/2); Einzelkorngefüge, deutliche Be-
grenzung. |
| 10-24 cm | A _e | Sehr schwach humoser, schwach durchwur-
zelter lehmiger Sand; trocken: gelb (10 YR
8/6), feucht: sehr fahlbraun (10 YR 7/4);
Einzelkorngefüge und stark durchlässig,
Begrenzung mäßig deutlich und gerade. |
| 24-41 cm | B _s | Sehr schwach humoser, schwach durchwur-
zelter toniger Sand; trocken: gelb (10 YR
7/8), feucht: gelblichbraun (10 YR 5/8);
Einzelkorngefüge, Begrenzung gerade und
scharf. |
| 41-65 cm | (A _e B _s) ^x | Sand; trocken und feucht: fahlgelb (2.5
Y 8/4) mit vielen kleinen Bändern. |
| 65 + cm | C | Sand, unter einem Eisenband liegend;
trocken: weiß (10 YR 8/2), feucht: hell-
grau (10 YR 7/2). |

3.) Profil Hangelstein I

Lage: In der Sandgrube am Hangelstein nördlich der Straße
Gießen - Daubringen (Abb. 2).

Topogr. Karte 1 : 25 000, Allendorf a.d. Lumda, 5318.

Rechtswert: 79.600

Hochwert : 10.200

Höhe : 185 m ü.N.N.

Relief : Schwach geneigt (Gef. 3 - 4 %)

Vegetation: 33- und 17jähr. Fichte.

Ausgangsgestein: Mitteloligozäne Meeressande.

Mittlere Jahrestemperatur: 8,8°C

Mittlerer Jahresniederschlag: 619 mm.

Bodentyp: Junge Bodenbildung auf tertiären Ton-Eisen-Sand-
bändern, Podsol - Braunerde

Tiefe

3 cm	O ₁	Fichtennadeln und Zweigreste fast un- zersetzt. Teilweise dunkel verfärbt.
1 cm	O _{fh}	Schwarzbraune (10 YR 2/2) mehr oder weni- ger zersetzte Nadelstreu und Moder, Begrenzung deutlich und gerade.
1-10 cm	A _h	Schwach humoser, stark durchwurzelter schluffiger Sand; trocken: fahlbraun (10 YR 6/3), feucht: hell bräunlichgrau (10 YR 6/2); Einzelkorngefüge, locker, Begrenzung scharf und gerade.
10-11 cm	Dünn Eisen- band 1	Sehr schwach humoser, verfestigter lehmig- er Sand; trocken: sehr fahlbraun bis bräunlichgelb (10 YR 7/4 - 6/6), feucht: gelblichbraun (10 YR 5/6); Begrenzung scharf und gerade.
11-23 cm	Zwischen- band 1	Sehr schwach humoser, lockerer Sand; trocken: weiß (2.5 Y 8/2), feucht: hell- grau (10 YR 7/2); Einzelkorngefüge, Be- grenzung scharf und gerade.

23-27 cm	Eisen- band 2	Verfestigter toniger Sand; trocken: gelb bis sehr fahlbraun (10 YR 7/4 - 7/6), feucht: gelblichbraun (10 YR 6/6 - 6/8); Begrenzung undeutlich.
27-37 cm	Ton- band 1	Lehmiger Sand; trocken: gelb (2.5 Y 8/6), feucht: fahlgelb (2.5 Y 7/4); Begrenzung undeutlich.
37-53 cm	Ton- band 2	Lehmiger Sand; trocken: weiß (2.5 Y 8/2), feucht: leicht grau (2.5 Y 7/2); Begrenzung deutlich und wellig.
53-70 cm	Zwischen- band 2	Sand; trocken: weiß (10 YR 8/2), feucht: leicht grau (2.5 Y 7/2); Begrenzung scharf und gerade.
70-85 cm	Eisen- band 3	Sand; trocken: rötlichgelb (7.5 YR 6/6), feucht: starkbraun (7.5 YR 5/8).

4.) Profil Am Gießener Stadtwald

Lage: Nördlich der Straße Gießen - Lich (Abb. 2)

Topogr. Karte 1 : 25 000, Gießen, 5418.

Rechtswert: 80.050

Hochwert : 04.100

Höhe : 180 m ü.N.N.

Relief : Hügelig

Vegetation: Mischwald (94jähr. Eichen, 79jähr. Kiefern, 34jähr. Buchen).

Ausgangsgestein: Mitteloligozäne Meeressande.

Mittlere Jahrestemperatur: 8,8°C

Mittlerer Jahresniederschlag: 619 mm

Bodentyp: Braunerde geringer Sättigung.

Tiefe

1 cm O₁

Kiefernadeln und Eichen- u. Buchenlaub des letzten Jahres, teilweise dunkel verfärbt.

2 cm	O _{fh}	Schwarzbraune (10 YR 2/2) mehr oder weniger zersetzte Nadel- und Laubstreu und Moder. Begrenzung deutlich und gerade.
0- 4 cm	A _n	Mäßig humoser, stark durchwurzelter lehmiger Sand; trocken: dunkelgraubraun (10 YR 4/2), feucht: dunkelbraun (10 YR 3/3); Begrenzung undeutlich.
4-15 cm	B _{v1}	Schwach humoser, mäßig durchwurzelter, lockerer, lehmiger Sand; trocken: sehr fahlbraun (10 YR 8/4 - 7/3), feucht: hellbraun bis gelblichbraun (10 YR 6/4 - 5/4); Einzelkorngefüge, Begrenzung undeutlich.
15-25 cm	B _{v2}	Sehr schwach humoser, schwach durchwurzelter, lehmiger Sand; trocken: sehr fahlbraun bis hell gelblichbraun (10 YR 7/4 - 6/4), feucht: braun (7.5 YR 5/4); dichter als B _{v1} , Begrenzung undeutlich.
25-50 cm	B _{v3}	Sehr schwach humoser, sehr schwach durchwurzelter (bis 30 cm), lockerer schluffiger Sand; trocken: sehr fahlbraun (10 YR 8/4), feucht: hell gelblichbraun (10 YR 6/4); Einzelkorngefüge, Begrenzung deutlich.
50 + cm	C	Sehr fahlbrauner, schluffiger Sand; trocken: (10 YR 8/3), feucht: (10 YR 7/3).

5.) Profil Schiffenberg

Lage: Östlich der Straße Gießen - Steinberg (Abb. 2)

Topogr. Karte 1 : 25 000, Gießen, 5418.

Rechtswert: 78.500

Hochwert : 02.750

Höhe : 170 m ü.N.N.

Relief : Eben

Vegetation: Nadelwald (154- und 32jähr. Kiefern, 81jähr. Fichte).

Ausgangsgestein: Oberoligozäne Sande und Tone

Mittlere Jahrestemperatur: 8,8°C

Mittlerer Jahresniederschlag: 619 mm

Bodentyp: Pseudogley - Gley

Tiefe

2 cm	O ₁	Kiefer und Fichtennadeln
1 cm	O _{fh}	Braunschwarzer (5 YR 2/1) mehr oder weniger zersetzte Nadelreste und Moder, Begrenzung deutlich und gerade.
0- 5 cm	A _h	Mäßig humoser, stark durchwurzelter, lockerer, lehmiger bis schluffiger Sand; trocken: grau (10 YR 5/1), feucht: sehr dunkelgraubraun (10 YR 3/2); Einzelkorngefüge, Begrenzung deutlich und gerade.
5-25 cm	S _w	Mäßig humoser, durchwurzelter, schluffiger lehmiger Sand; trocken: sehr fahlbraun (10 YR 7/3), feucht: braun (10 YR 5/3); dichter als A _h -Horizont, Begrenzung undeutlich.
25-55 cm	S _d	Sehr schwach humoser, dichter, sandiger Lehm; trocken: fahlgelb (2.5 Y 7/4), feucht: fahlbraun (10 YR 6/3); rostbraun gestreift, Begrenzung deutlich und gerade.
55-90 cm	G ₀	Sehr schwach humoser, sehr dichter Sand; trocken: rötlichgelb (7.5 YR 6/6), feucht: braun (7.5 YR 4/4); Begrenzung undeutlich.
90 + cm	G _r	Dichter, lehmiger Sand; trocken und feucht: grau (10 YR 6/1 bzw. 7.5 YR 5/0).

Abb. 3: Lage des Profils Ilbenstadt



Maßstab 1:80 000

0 2 4 6 km

6.) Profil Ilbenstadt

Lage: Südöstlich von Ilbenstadt (Abb. 3)

Topogr. Karte 1 : 25 000, Ilbenstadt, 5718.

Rechtswert: 86.600

Hochwert : 70.800

Höhe : 158 m ü.N.N.

Relief : Mäßig geneigt (17 %)

Vegetation: Mischwald, überwiegend Fichten.

Ausgangsgestein: Lößlehm auf jungmiozänem Sand

Mittlere Jahrestemperatur: 8,7 - 9,0°C

Mittlerer Jahresniederschlag: 568 - 608 mm

Bodentyp: Parabraunerde

Tiefe

1 cm O ₁	Vorwiegend Fichtennadeln.
2- 3 cm O _f	Braunschwarze (7.5 YR 2/0) mehr oder weniger zersetzte Fichtennadeln.
1 cm O _h	Braunschwarzer (5 YR 2/1) Moder.
0- 4 cm A _h	Mäßig humoser, sandiger Schluff; trocken: graubraun (10 YR 5/2), feucht: dunkelbraun (10 YR 4/4); Einzelkorngefüge, Begrenzung mäßig deutlich, wellig, zungenförmig.
4-40 cm A ₁	Mäßig humoser, sandiger lehmiger Schluff; trocken: fahlbraun (10 YR 6/3), feucht: dunkel gelblich braun (7.5 YR 5/6); Einzelkorngefüge, Begrenzung undeutlich.
40-80 cm B _t	Sehr schwach humoser, sandiger schluffiger Lehm bis schluffiger Lehm; trocken: sehr fahlbraun (10 YR 7/4), feucht: stark braun (7.5 YR 5/6); Kohärentgefüge, Begrenzung undeutlich.

- 80-95 cm II B_t Sehr schwach humoser lehmiger Ton;
trocken und feucht: gelb (10 YR 7/6);
Polyedergefüge, stark fleckig, marmo-
riert, Begrenzung scharf.
- 95 + cm II C Sehr schwach humoser, lehmiger bis toni-
ger Sand; trocken: gelb (10 YR 7/6),
feucht: gelblichbraun (10 YR 5/8); Ein-
zelkorngefüge.

7.) Profil Hangelstein II

Lage: Am Rande der Sandgrube am Hangelstein nördlich der
Straße Gießen - Dauhringen (Abb. 2)

Topogr. Karte 1 : 25 000, Allendorf a.d. Lumda, 5318.

Rechtswert: 79.750

Hochwert : 10.500

Höhe : 200 m ü.N.N.

Relief : schwach geneigt (4 - 5 %)

Vegetation: Grasvegetation

Ausgangsgestein: Schotter

Mittlere Jahrestemperatur: 8,8°C

Mittlerer Jahresniederschlag: 619 mm

Bodentyp: Flache bis mittelmäßige Braunerde

Tiefe

- 0-10 cm A_h Mäßig humoser, schwach steiniger, stark
durchwurzelter, schluffiger Sand; trocken:
gelblichbraun (10 YR 5/4), feucht: stark
braun (7.5 YR 5/6); Einzelkorngefüge, Be-
grenzung mäßig deutlich und gerade.
- 10-20 cm B_{v1} Sehr schwach humoser, mäßig durchwurzelter,
schluffiger lehmiger Sand; trocken: röt-
lichgelb (7.5 YR 7/6 - 6/6), feucht: braun
bis dunkelbraun (7.5 YR 5/4 - 4/4); stei-
nig, Begrenzung undeutlich.

20-30 cm B_{v2} Sehr schwach humoser, schwach durchwur-
zelter lockerer, schluffiger lehmiger
Sand; trocken: rötlichgelb bis braun
(7.5 YR 6/6 - 5/6), feucht: starkbraun
(7.5 YR 5/6); steinhaltig.

2.4. Untersuchungsmethoden

Die physikalischen und chemischen Untersuchungen der Fein-
böden (2 mm) wurden nach folgenden Methoden vorgenommen:

1.) Kornzusammensetzung:

Der Tonteil und Fein + Mittelschluff wurde nach der
Pipettmethode von KÖHN; der Gehalt an Grob-, Mittel-
und Feinsand durch Naßsiebung ermittelt. (THUN, HERR-
MANN und KNICKMANN, 1955).

Ton	\ 0,002 mm
Fein- + Mittelschluff	0,002 - 0,02 mm
Grobschluff	0,02 - 0,06 mm
Feinsand	0,06 - 0,2 mm
Grob- + Mittelsand	0,2 - 2,0 mm

Die Dispergierung des Bodens wurde mit 4 % Natriumhexa-
metaphosphat + Na₂CO₃ (Calgon) nach JUNG und ROHMER
(1966) vorgenommen.

2.) pH-Wert:

Elektrometrisch in H₂O und 1n KCl (Boden : Lösung =
1 : 2,5).

3.) Bodenart: nach dem Bodenartendiagramm der geologischen Landesämter der Bundesrepublik (KOHL, 1965).

4.) Die Bodenfarbe wurde am feuchten und trockenen Boden nach MUNSELL bestimmt. (MUNSELL, 1956).

5.) Organische Substanz (Humus):

a) Mineralboden: nach SPRINGER und KLEE (1954) (nasse
Verbrennung)

b) Auflagehorizonte: Glühverlust bei 600°C.

Der C-Gehalt der organischen Substanz wurde mit 58 % angenommen.

6.) Fraktionierung der organischen Substanz:

a) Säurelösliche organische Verbindungen nach SCHLICHTING und BLUME (1966).

b) Fraktionierung der organischen Substanz nach KONONOWA und BELTSCHIKOWA (1961).

Extrahierung mittels 0,1 n Na-Pyrophosphat und 0,1 n Natronlauge. Trennung von Huminsäuren und Fulvosäuren durch Säurefällung. C-Bestimmung nach Eintrocknung aliquoter Teile mittels nasser Verbrennung. Die Fulvosäure - Fraktion bildet nach dieser Methode die Gesamtheit der organischen Stoffe, die nach Ausfällen der Huminsäuren mittels H_2SO_4 aus dem alkalischen Extrakt in Lösung bleiben. Sie enthält die nicht Huminstoffe, die mobilen Fulvosäuren und die an Huminsäuren gebundenen Fulvosäuren. Nach BRENNER (1950), DUBACH et al (1963), POSNER (1966) werden Huminstoffe in Gegenwart von Luftsauerstoff bei der Verwendung stark alkalischer Extraktionsmittel depolymerisiert. Ein Teil der Fulvosäuren könnte folglich künstlich bei der Extraktion als Abbauprodukte der Huminsäuren entstanden sein.

Der Gehalt an Huminsäuren und Fulvosäuren wird in mg C/100 g Boden ausgedrückt.

7.) Die Kationenaustauschkapazität (AK), nach MEHLICH (1948).

8.) Kationennachlieferung mit ELEKTRO - ULTRAFILTRATION, nach KOTTGEN und DIEHL (1929) mod. von JUNG und NEHMETH (1966).

Bei der EUF wandern die Kationen des Bodens im elektrischen Strom durch eine semipermeable Membran, die auf Platin-Netzelektroden aufliegt. Die an den Elektroden

entladenen Ionen werden durch einen ständig fließenden Wasserstrom hinweggespült. Durch ein Vakuum hinter den Membranen wird der Vorgang des Wasserdurchflusses beschleunigt. Die in Zeitabständen von 5 Minuten aufgefangenen Kationen wurden mit 0,1 n HCl zurücktitriert. Mit dieser Methode werden lösliche und sorbierte Kationen (Alkalien und Erdalkalien) erfaßt.

- 9.) Gesamtgehalt an SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 : im Ätznatron-
aufschluß.
- a) SiO_2 : gravimetrisch.
 - b) R_2O_3 : gravimetrisch nach Fällung mittels NH_4OH .
 - c) Fe_2O_3 : titrimetrisch mit Titriplex III (Dinatriumsalz der Äthylendiamintetraessigsäure) und Sulfosalicylsäure als Indikator nach MERCK (o.J.).
 - d) Al_2O_3 : $\text{R}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3$.
- 10.) Gehalt an freiem Fe_2O_3 : Extraktion nach MEHRA und JACKSON
(1958) (Na-Citrat-Bicarbonat-Na-Dithionit); Bestimmung wie 9 c.
- 11.) Gehalt an amorphem Fe (Oxalat- lösliches Fe):
Extraktion nach SCHWERTMANN (1964); Bestimmung wie 9 c.
- 12.) Gehalt an freiem (Na-löslichem) SiO_2 und Al_2O_3 :
Extraktion nach FOSTER (1953) in 0,5 n NaOH.
 SiO_2 - Bestimmung: kolorimetrisch mit Molybdat (JACKSON, 1958).
 Al_2O_3 - Bestimmung: komplexometrisch nach MERCK (o.J.) mit Titriplex III und Xylenorange als Indikator; Rücktitration mit Zinksulfat.
- 13.) Eisen und Aluminium im 0,05n H_2SO_4 - Extrakt
SCHLICHTING und BLUME (1966)
 Fe_2O_3 - Bestimmung: kolorimetrisch mit Sulfosalicylsäure.
 Al_2O_3 - Bestimmung: komplexometrisch nach MERCK (o.J.)
wie 11.

- 14.) Stickstoff: nach KJELDAHL mit Selen - Reaktionsgemisch (THUN, HERRMANN und KNICKMANN, 1955).

3. Kennwerte

3.1. Kornzusammensetzung der Feinböden

Wie schon bei der Besprechung des Ausgangsmaterials erwähnt, sind die untersuchten Böden aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien hervorgegangen. Die Kornzusammensetzung spiegelt diese Unterschiede wider.

Der Tongehalt liegt in allen Profilen in einer weiten Spanne zwischen 0,35 und 49,10 %. Er nimmt in allen Profilen vom A_h -Horizont zum Unterboden zu (Tab. 2, Abb. 4). Diese Tiefenfunktion kann lithogen und/oder pedogen bedingt sein; nach SCHLICHTING und BLUME (1961) ist das Ausgangsmaterial im Bereich des Solums als homogen anzusprechen, wenn das Verhältnis Feinsand zu Grobsand gleich ist oder in Richtung des Verwitterungsoptimums (A-Horizont) abnimmt. Dieses Kriterium gilt allerdings für schluffreiche Lockersedimente, entsprechende Angaben für sandige Sedimente liegen in der Literatur nicht vor. Trotz dieser Einschränkung soll dieses Kriterium auf die untersuchten Böden angewendet werden.

In den Profilen Daubringen, Am Gießener Stadtwald und Hangelstein II kann das geologische Substrat als homogen angesprochen werden. Dies gilt auch für das Profil Gröbner bis zu einer Tiefe von 41 cm und für das Profil Ilbenstadt im Bereich der rezenten Bodenbildung (Tab. 2, Abb. 4). Der mit zunehmender Tiefe zunehmende Tongehalt muß somit in diesen Profilen bzw. Profilabschnitten auf pedogene Prozesse zurückzuführen sein. Nur in dem Profil Hangelstein I ist das geologische Substrat inhomogen, obwohl eine pedogenetische Überprägung (Zunahme des Tongehaltes vom A_h zum

Tabelle 2: Kornzusammensetzung* in % und Verhältnisse der Kornfraktionen zueinander

Horizont	Tiefe cm	Ton (2)	Fein + Mittel- Schluff (2-20)	Grob- Schluff (20-60)	Fein- sand (60-200)	Grob- sand (200- 2000)	Gesamt- sand (60-2000)	Boden- art	fS gS	U gS	T gS	T + U gS
PROFIL DAUBRINGEN												
A _{he}	0-4	6,63	16,90	20,39	25,17	31,51	56,68	u S	0,80	1,19	0,21	1,39
B _{sv}	4-22	9,20	21,75	24,83	22,23	21,99	44,22	uLS	1,01	2,12	0,42	2,53
PROFIL GRÖBNER												
A _h	0-10	1,69	1,70	6,05	62,74	27,92	90,60	S	2,25	0,28	0,06	0,34
A _h	10-24	7,80	3,45	11,20	56,22	21,33	77,55	l'S	2,63	0,68	0,36	1,04
B _a	24-41	5,10	0,80	4,02	72,67	17,41	90,08	t'S	4,17	0,27	0,29	0,56
(A _e B _s)	41-65	11,00	4,35	15,33	55,15	14,17	69,32	lS	3,89	1,38	0,77	2,15
C	65 +	0,40	0,20	1,18	56,18	42,04	98,22	S	1,33	0,03	0,01	0,04
PROFIL HANGELSTEIN I												
A _h	0-10	2,80	1,80	10,01	76,68	8,71	85,39	uS	8,80	1,35	0,32	1,67
Eisen- band 1	10-11	8,00	5,50	4,31	72,41	9,78	82,19	l'S	7,40	1,00	0,82	1,82
Zwischen- band 1	11-23	0,35	0,30	2,13	77,52	19,70	97,21	S	3,93	0,12	0,02	0,14
Eisen- band 2	23-27	7,25	2,40	2,77	75,76	11,82	87,58	t'S	6,41	0,44	0,61	1,05
Tonband 1	27-37	7,70	7,55	11,18	68,01	5,56	73,57	lS	12,23	3,37	1,38	4,75
Tonband 2	37-53	6,80	7,20	11,41	65,78	6,81	72,59	lS	9,66	2,73	1,29	4,02
Zwischen- band 2	53-70	1,45	0,08	1,48	68,65	28,34	96,99	S	2,42	0,05	0,05	0,10
Eisen- band 3	70-85	4,70	0,10	3,17	72,51	19,52	92,03	S	3,71	0,16	0,24	0,40
PROFIL AM GIESSENER STADT WALD												
A _h	0-4	7,92	10,55	10,67	25,27	45,59	70,86	l'S	0,55	0,47	0,18	0,64
B _{v1}	4-15	8,44	15,65	13,36	22,45	40,10	62,55	lS	0,56	0,72	0,21	0,93
B _{v2}	15-25	11,45	16,70	15,22	24,64	31,99	56,63	lS	0,77	0,99	0,36	1,35
B _{v3}	25-50	6,85	13,80	14,41	30,42	34,52	64,94	uS	0,88	0,81	0,19	1,00
C	50-60+	3,80	6,10	12,11	35,69	42,30	77,99	uS	0,84	0,43	0,09	0,52
PROFIL HANGELSTEIN II												
A _h	0-10	6,92	15,35	19,60	28,10	30,03	58,13	uS	0,39	1,17	0,23	1,39
B _{v1}	10-20	7,79	21,70	20,16	19,71	28,74	48,45	uLS	0,68	1,46	0,34	1,80
B _{v2}	20-30	12,00	19,95	19,30	19,62	29,13	48,75	uLS	0,67	1,34	0,41	1,75
PROFIL SCHIFFENBERG												
A _h	0-5	8,45	19,55	16,55	21,91	33,54	55,45	lS	0,65	1,09	0,25	1,33
S _w	5-25	9,48	21,80	19,26	23,12	26,34	49,46	uLS	0,87	1,57	0,36	1,92
S _a	25-55	23,90	12,45	23,79	18,04	21,82	39,86	s L	0,82	1,66	1,09	2,75
G _o	55-90	4,60	2,20	5,57	43,07	44,36	87,43	S	0,97	0,17	0,11	0,28
G _r	90 +	2,60	3,10	4,82	41,27	45,21	86,48	l'S	0,91	0,17	0,12	0,29
PROFIL ILBENSTADT												
A _h	0-4	5,72	23,85	31,60	26,71	12,12	38,83	eU	2,20	4,60	0,47	5,05
A ₁	4-40	8,56	22,73	34,04	26,20	8,47	34,67	eLU	3,09	6,72	1,01	7,71
B _t	40-80	17,70	18,40	30,67	25,12	8,11	33,23	eL	3,09	6,06	2,18	8,23
IIB _t	80-95	49,10	11,85	14,18	20,55	4,32	24,87	lT	4,75	6,02	11,36	11,38
II C	95 +	12,00	2,95	10,51	59,45	15,09	74,54	t'S	3,93	0,88	0,79	1,67

T = Ton

f = fein

U = Schluff

g = grob

S = Sand

* in μ berechnet auf humusfreien Boden

Abb. 4: Korngrößenzusammensetzung

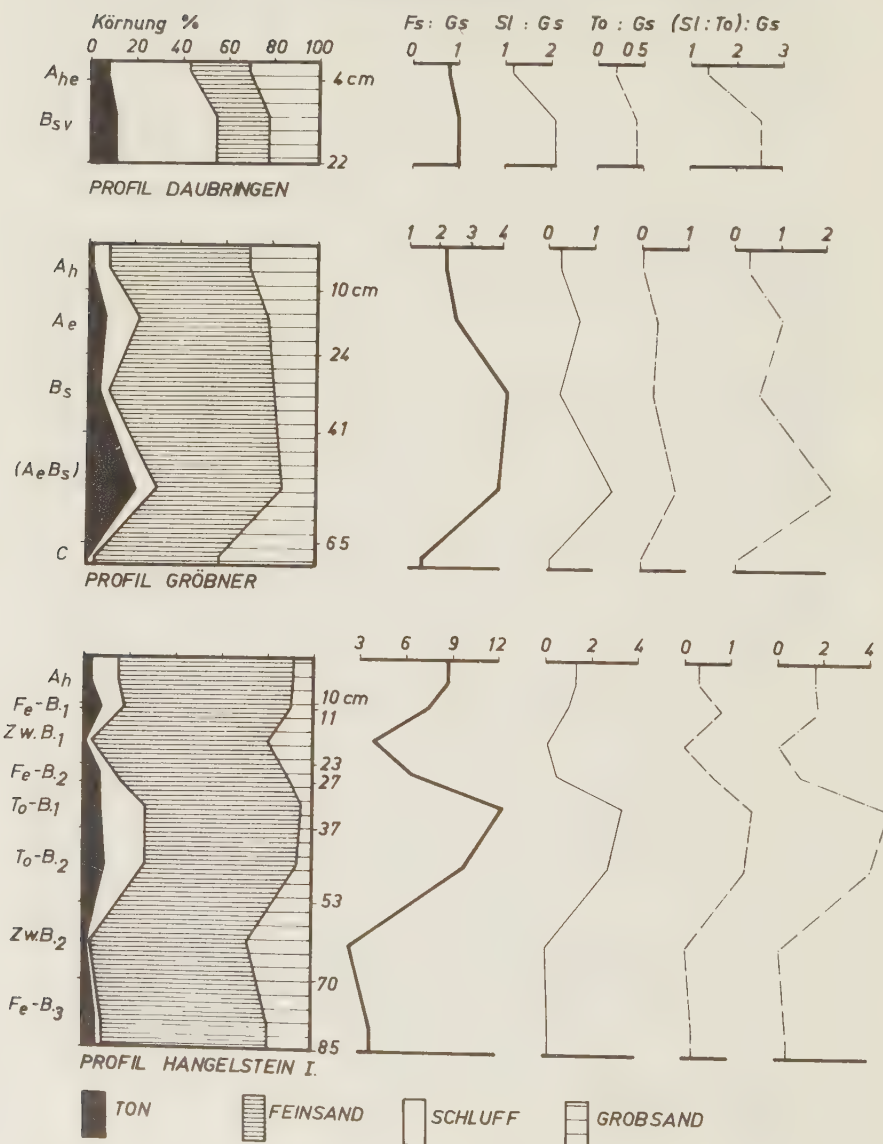


Abb. 4 (Forts.): Korngrößenzusammensetzung

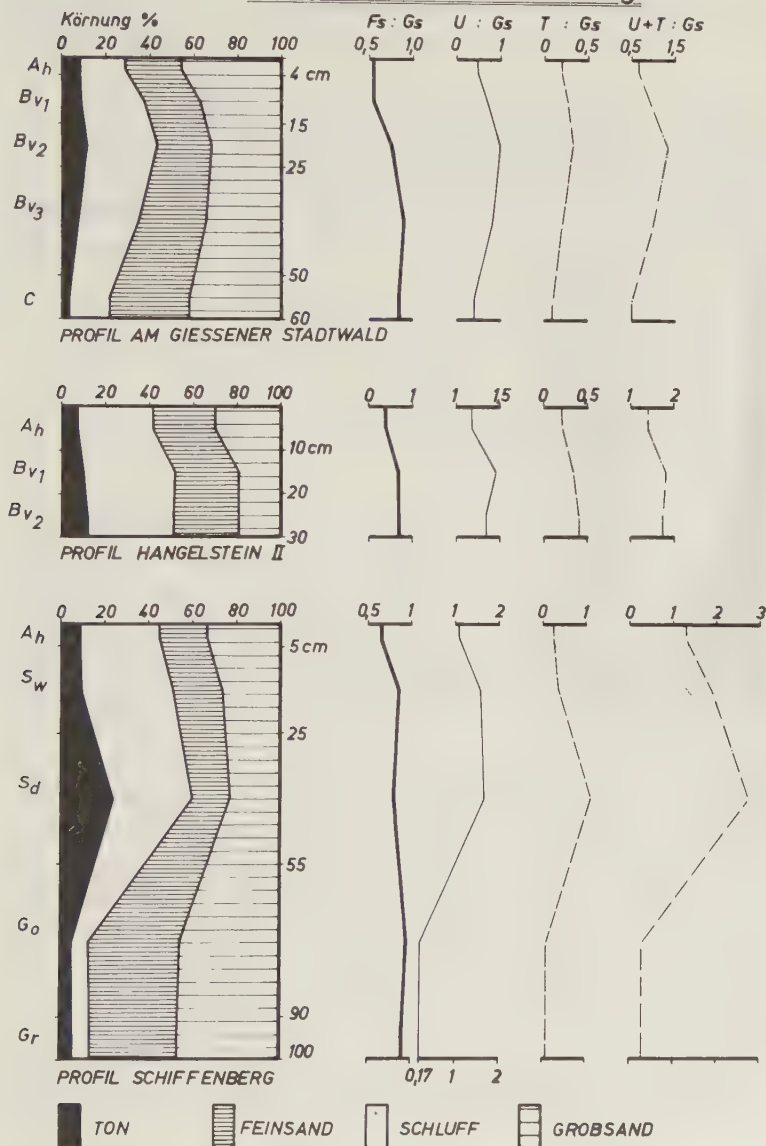
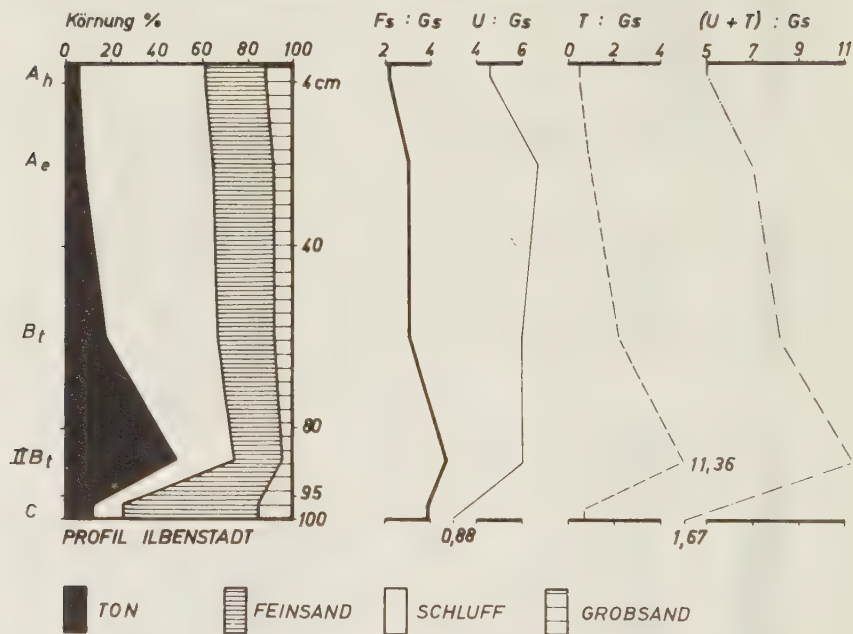


Abb. 4 (Forts.): Korngrößenzusammensetzung



ersten Eisenband durch Tonverlagerung) nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Problematik der Anwendung dieses Kriteriums auf die vorliegenden Substrate geht aus der Betrachtung des Profils Schiffenberg hervor. Die als sedimentär, d.h., lithogen anzusprechende Gail'sche Serie aus tonigen und sandigen Schichten müßte, den Feinsand/Grobsand-Verhältnissen zufolge, ebenfalls homogen sein.

Die pedogen bedingte Tiefenfunktion des Tones kann aus der Verlagerung von Tonkolloiden aus dem Oberboden, einer bevorzugten Tonbildung aus primären silikatischen Mineralen in tieferen Horizonten oder aus einer Tonneubildung in diesen Horizonten aus verlagerten kolloidalen Zerfallsprodukten primärer und sekundärer silikatischer Minerale resultieren.

Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) befindet sich die größte Wanderungsfähigkeit unzersetzter Tonteilchen im pH-Bereich zwischen 5 - 7, während außerhalb dieses Bereiches die Durchschlammung nur gering ist. Sowohl im alkalischen, als auch im stark sauren Bereich wird die Aggregatbildung durch Ca^{++} , Mg^{++} -Ionen bzw. Al^{+++} und Fe^{+++} -Ionen gefördert.

Wegen des niedrigen pH-Wertes in den beiden Horizonten des Profils Daubringen (pH (KCl) 3,4 bzw. 3,7) ist mit einer rezenten Verlagerung des Tons nicht zu rechnen. Die schwache Zunahme an Ton im B_{sv} -Horizont kann durch mechanische und chemische Verwitterung verursacht werden. Es ist möglich, daß der Boden hier in der Hauptwurzelzone feuchter als im A_{he} -Horizont ist und aus diesem Grunde die Verwitterung intensiver verläuft. Zur Unterstützung dieser Vermutung sei angeführt, daß die Fein- und Mittelschluff-Fraktion im B_{sv} -Horizont höher ist als im A_{he} -Horizont und die größeren Fraktionen, insbesondere der Grobsand, mit der Tiefe

abnehmen. Die Zunahme des Tongehaltes im B_{sv} -Horizont kann aber auch zum Teil auf eine intensive Verwitterung der Tonsubstanz im A_{he} -Horizont, einer sich daran anschließenden Verlagerung der Oxide und deren Anreicherung in dem B_{sv} -Horizont zurückgeführt werden. Die Tiefenfunktion der Tonfraktion beruht somit auf dem Prozess der Podsolierung. Nach MÜCKENHAUSEN (1962) enthält der B-Horizont von Podsol-Braunerden mehr Ton als der A-Horizont.

Auffallend ist das Tonmaximum in den B_{v2} -Horizonten der Profile Am Gießener Stadtwald und Hangelstein II. Da das Ausgangsmaterial beider Profile homogen ist, kann die Zunahme an Ton in den B_{v2} -Horizonten beider Profile auf einer Tonneubildung beruhen, die von der organischen Substanz beeinflusst wird (ZONN, 1967, zit. i. PREUSSE 1969). Weiterhin kann die Zunahme an Ton in den B_{v2} -Horizonten auch durch die Tonwanderung von oben nach unten erfolgen. Da der pH-Wert niedrig ist (Tab. 3), dürfte diese Tonwanderung auf die Beteiligung der niedermolekularen organischen Verbindungen zurückzuführen sein. Nach BARSHAD (1964) (in BEAR 1964) können niedermolekulare organische Substanzen im sauren Bereich die Al- und Fe-Ionen komplexieren und somit deren Konzentration in der Bodenlösung herabsetzen, wodurch die Peptisationsneigung des Tons erhöht wird. Aus Tabelle 6 ist ersichtlich, daß die säurelöslichen Nichthuminstoffe und Fulvosäuren, ausgedrückt in % des Gesamt-C-Gehaltes, mit der Tiefe zunehmen, was die Annahme hinsichtlich des Einflusses niedermolekularer organischer Substanz auf die Tonwanderung rechtfertigt. Auch PREUSSE (1969) konnte in einigen Parabraunerden mit niedrigem pH-Wert nachweisen, daß eine Beziehung zwischen dem Tongehalt und dem Anteil an mobilen Nichthuminstoffen und Fulvosäuren besteht.

Fein- und Mittelschluff bzw. Grobschluff steigen ebenfalls im Profil Am Gießener Stadtwald vom A_h - bis zum B_{v2} -Horizont

an, während sie im Profil Hangelstein II im ganzen Solum annähernd konstant bleiben.

Im Profil Schiffenberg nimmt der Tongehalt vom A_h - (8,45 %) zum S_d -Horizont (23,90 %) stetig zu. Der S_d -Horizont ist geologisch durch die Ablagerung von oberoligozänen kaolinit-reicheren Tonen gebildet worden. Die Sandschicht der Go- und Gr-Horizonte weist etwa den gleichen Gehalt an Ton (4,80 bzw. 5,60 %) auf. Die fS : gS- bzw. U : gS-Verhältnisse sind im A_h -Horizont niedriger als im S_d -Horizont, was auf die intensivere Verwitterung im A_h -Horizont schließen läßt; diese Verhältnisse treffen auch für die Profile Am Gießener Stadtwald, Hangelstein II und für das anschließend zu besprechende Profil Ilbenstadt zu.

Der Tongehalt letztgenannten Profiles steigt vom A_h - bis zum IIB_t -Horizont von 5,45 bis 49 % stetig an. Auf Grund des unterschiedlichen Schluffgehaltes bzw. des Sandgehaltes dürfte der IIB_t -Horizont in einer anderen geologischen Schicht gebildet worden sein. Darüber hinaus ist eine Tonverlagerung vom B_t - zum IIB_t -Horizont nicht auszuschließen. Im II C-Horizont nimmt der Tongehalt plötzlich ab, da es sich hier ebenfalls um eine andere geologische Schicht handelt. Im Gegensatz zum Tongehalt verringert sich der Sandgehalt vom A_h - bis zum IIB_t -Horizont von 38,8 auf 24,8 % auf Grund des größeren Teilchendurchmessers und der höheren Verwitterungsresistenz des Quarzes.

Das T : gS-Verhältnis gibt ein klares Bild über die Tonverlagerung in die B_t - und IIB_t -Horizonte. Nach SCHLICHTING und BLUME (1961) muß das Ton : Grobsandverhältnis bei Tonverlagerung im B_t -Horizont höher sein als im A_1 -Horizont.

Wie schon bei der Besprechung des Ausgangsmaterials erwähnt wurde, ist das Profil Hangelstein I und bis zu einem gewissen Umfang auch das Profil Gröbner aus inhomogenem Ausgangsmaterial hervorgegangen. Die beiden Profile enthalten mehre-

re tonreichere, meist bräunliche bis rötliche Bänder, die unter tonärmeren helleren Zwischenbandhorizonten liegen (s. Profilbeschreibung, Tab. 2 u. Abb. 4). Auf den Bildungsmechanismus dieser Bänder wird später eingegangen.

3.2. Die Kationenaustauschkapazität

Der Kationenaustausch ist eine der wichtigsten Bodeneigenschaften. Die austauschbaren Kationen beeinflussen die physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften. Sie beeinflussen ferner die genetischen Vorgänge im Boden und damit die Ausbildung verschiedener Bodentypen.

Als Kationenaustauscher im Boden sind die Tonminerale, die organische Substanz sowie Al- und Fe-Oxide zu nennen. Die Höhe der Austauschkapazität richtet sich nach der mineralogischen Zusammensetzung der Tonfraktion, dem Anteil bestimmter Stoffgruppen innerhalb der Huminstoffe sowie dem Anteil dieser reaktionsfähigen Minerale und Verbindungen am Gesamt- bzw. Feinboden.

In den Profilen Daubringen und Am Gießener Stadtwald nimmt die Austauschkapazität vom A_{he} - bzw. A_n -Horizont bis zum B_{sv} - bzw. C-Horizont von 13,5 bzw. 8,23 mval/100 g Boden bis 7,30 bzw. 0,82 mval/100 g Boden stetig ab (Abb. 5, Tab. 3). Diese Abnahme steht im umgekehrten Verhältnis zum Tongehalt. Der Grund dafür ist der höhere Gehalt an organischer Substanz in den A_n -Horizonten und die gegenüber den Tonmineralen höhere Austauschkapazität der Huminstoffe.

Nach FIEDLER und REISSIG (1964) kann die Austauschkapazität der organischen Substanz bis zu 300 mval betragen, die des Tones (< 2 μ) variiert, je nach Mineralart zwischen 5 und 120 mval/100 g. Dies ist nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) durch eine höhere Anzahl und bessere Zugänglichkeit reaktionsfähiger Gruppen der organischen Substanz gegenüber dem Ton bedingt.

Abb. 5 :

Die Wirkung von Ton u. org. Substanz auf die Austauschkapaz.

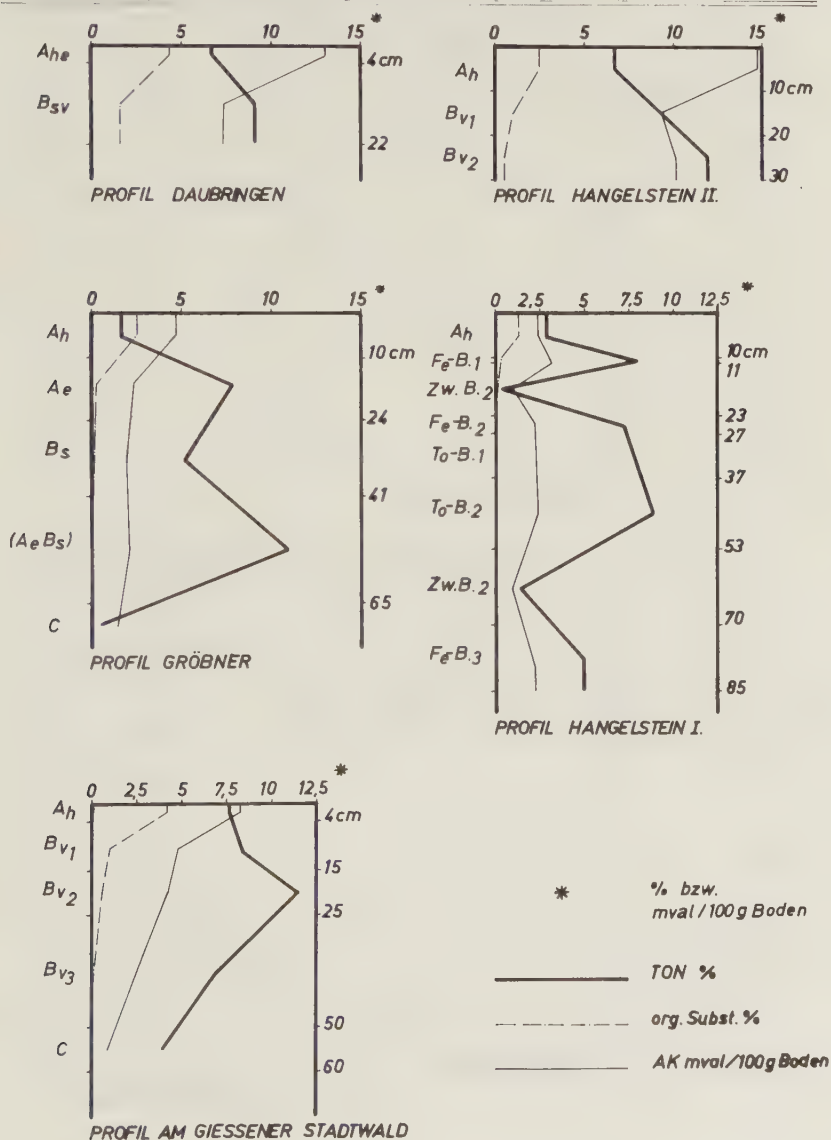
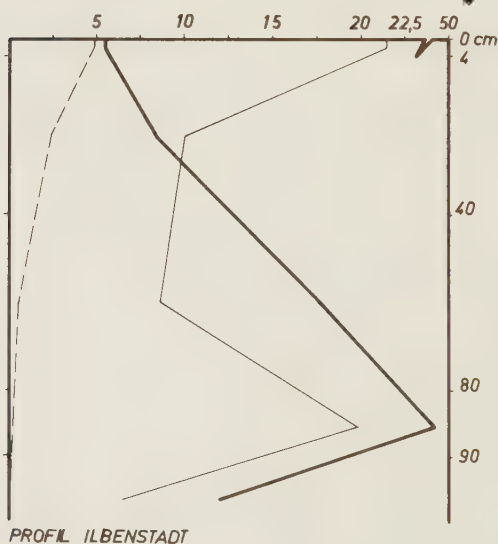
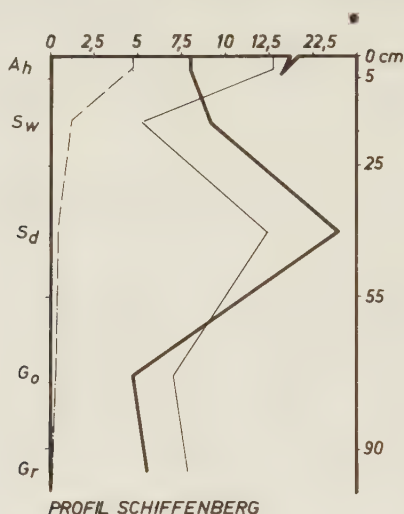


Abb. 5 (Forts.):

Die Wirkung von Ton und org. Substanz auf die Austauschkapazität



* % bzw. mval / 100 g Boden

Der geringe Tongehalt in den Profilen Gröbner und Hangelstein I hat eine niedrige Austauschkapazität zur Folge (0,78 - 4,70 mval/100 g Boden); höhere Austauschkapazitätswerte treten jeweils in den Ton - Eisenbändern auf. FOLKS und RIECKEN (1956) stellten ebenfalls mehr austauschbare Kationen in den Ton- und Eisenbändern als in den dazwischenliegenden Horizonten einiger Bodenprofile in Iowa/USA fest. Trotz des niedrigen Gehaltes an Ton gegenüber den A_e - und den darunter liegenden Bändern ist die Austauschkapazität in dem A_h -Horizont des Profiles Gröbner wegen des wesentlich höheren Gehaltes an organischer Substanz größer (Tab.3).

In den Profilen Schiffenberg, Ilbenstadt und Hangelstein II nimmt die Austauschkapazität vom A_h - bis zum S_w -, B_t -, bzw. B_{v1} -Horizont zunächst ab, da mit der Tiefe auch die organische Substanz abnimmt. Bedingt durch die erhebliche Zunahme an Ton in den S_d -, IIB_t - und B_{v2} -Horizonten (Tab. 2) steigen aber die Werte in diesen Horizonten wieder an, ohne die Austauschkapazität des A-Horizontes zu erreichen. In den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt erkennt man deutlich den Einfluß der organischen Substanz auf die Austauschkapazität; die Horizonte S_d und II B_t enthalten mit 23,90 bzw. 49,10 % erheblich mehr Ton als die A_h -Horizonte (8,45 bzw. 5,72 %), während die Austauschkapazität in letztgenannten Horizonten höher ist als in den S_d - und II B_t -Horizonten (Tab. 3).

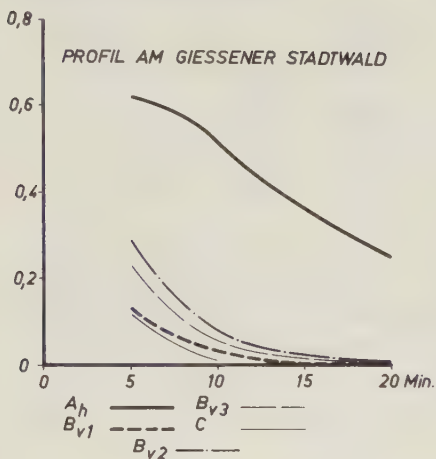
3.3. Austauschbare H-Ionen, Basensättigung und Bodenreaktion

Die austauschbaren H-Ionen (H-Wert) weisen in allen Profilen, ausgenommen Hangelstein I, ein Maximum im A_h -Horizont auf (zwischen 1,88 und 21,10 mval/100 g Boden) und nehmen mit der Tiefe ab (Tab. 3). Das Profil Hangelstein I verzeichnet in den Tonanreicherungshorizonten höhere Werte als in den Auswaschungshorizonten. Als Grund für dieses Ergebnis

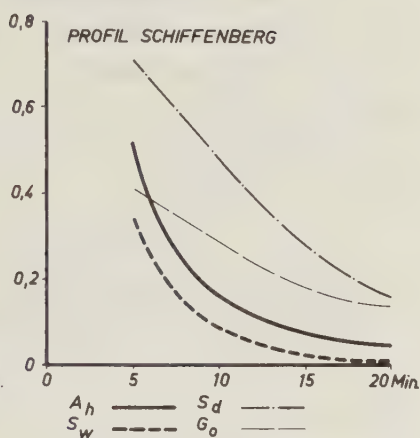
Tabelle 3: Kationenaustauschkapazität und Bodenreaktion

Horizont	Tiefe in cm	AK	H-Wert	S-Wert	V-Wert %	pH H ₂ O	pH KCl
PROFIL DAUBRINGEN							
A _{he}	0 - 4	13,05	10,10	2,95	22,60	4,1	3,4
B _{sv}	4 - 22	7,30	5,40	1,90	26,02	4,2	3,7
PROFIL GROENER							
A _n	0 - 10	4,70	3,50	1,20	25,53	4,9	3,8
A _e	10 - 24	2,42	2,00	0,42	17,35	5,0	4,0
E _s	24 - 41	1,94	1,00	0,34	17,52	5,3	4,2
(A _e B _s) _x	41 - 65	2,07	1,40	0,67	32,70	5,4	4,3
C	65 +	1,51	0,50	1,01	66,88	5,8	5,1
PROFIL HANGELSTEIN I							
A _n	0 - 10	2,38	1,85	0,53	22,27	4,7	3,9
Eisenband 1	10 - 11	3,07	2,25	0,82	26,71	4,9	4,2
Zwischenband 1	11 - 23	0,78	0,60	0,18	23,07	5,9	5,8
Eisenband 2	23 - 27	2,26	1,35	0,91	40,26	4,4	4,3
Tonband 1	27 - 37	2,30	1,00	1,30	56,52	5,2	5,0
Tonband 2	37 - 53	2,33	1,15	1,18	50,04	4,5	4,3
Zwischenband 2	53 - 70	0,97	0,80	0,17	17,52	4,9	4,2
Eisenband 3	70 - 85	2,08	1,60	0,48	23,07	4,9	3,9
PROFIL AM GIESSENER STADTWALD							
A _n	0 - 4	8,23	6,45	1,78	21,02	4,4	4,0
B _{v1}	4 - 15	4,82	3,75	1,07	22,12	4,2	4,0
B _{v2}	15 - 25	4,24	3,30	0,94	22,17	4,0	3,7
B _{v3}	25 - 50	2,52	1,95	0,57	22,62	4,0	3,8
C	50 - 60	0,82	0,60	0,22	26,03	4,5	4,1
PROFIL SCHIFFENBERG							
A _n	0 - 5	12,72	12,00	0,72	5,66	3,7	3,5
S _w	5 - 25	5,83	5,60	0,23	4,08	4,2	3,6
S _d	25 - 55	12,32	2,40	9,92	80,52	5,6	3,8
G _o	55 - 90	7,06	0,60	0,46	91,50	7,3	4,9
G _r	90 +	7,86	0,80	7,06	89,81	6,2	4,4
PROFIL ILBENSTADT							
A _n	0 - 4	21,45	21,10	0,35	1,63	3,6	3,0
A _l	4 - 40	10,10	9,70	0,40	3,96	3,6	3,0
B _t	40 - 80	8,56	4,40	4,16	48,59	4,4	3,4
IIB _t	80 - 95	19,72	9,00	10,72	54,36	4,5	3,1
IIC	95 +	6,45	1,40	5,05	78,29	4,8	3,4
PROFIL HANGELSTEIN II							
A _n	0 - 10	14,82	5,00	9,82	66,26	5,5	4,4
B _{v1}	10 - 20	9,35	2,60	6,75	72,19	4,8	4,1
B _{v2}	20 - 30	10,16	2,40	7,76	76,37	4,8	4,4

mval / 100 g Boden



mval / 100 g Boden



mval / 100 g Boden

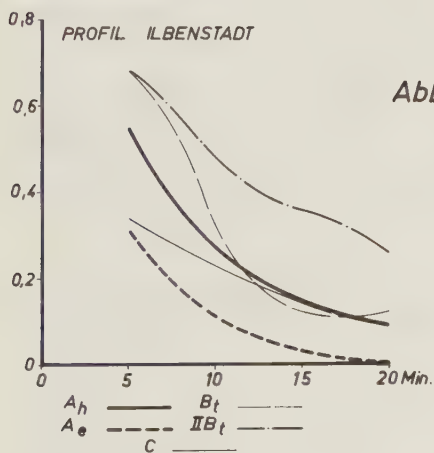
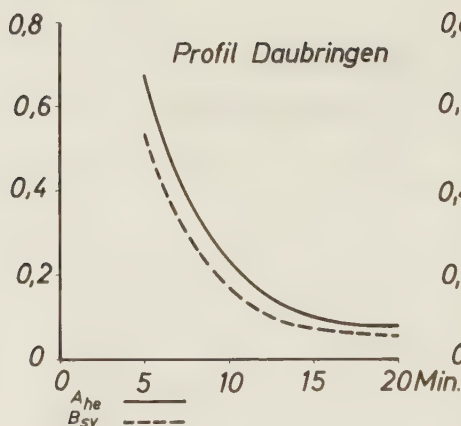
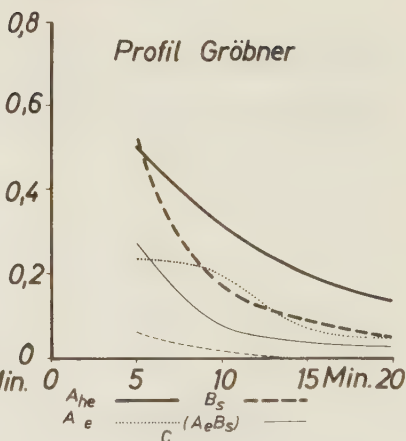


Abb. 6: EUF-Kurven der freien und sorbierten Alkali- und Erdalkali-Ionen

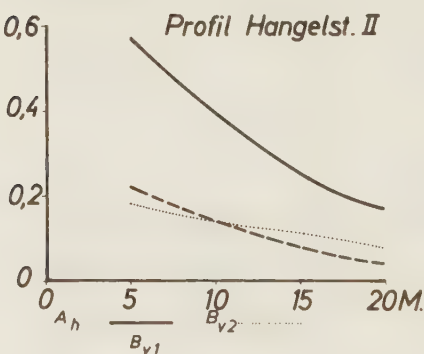
mval / 100 g Boden



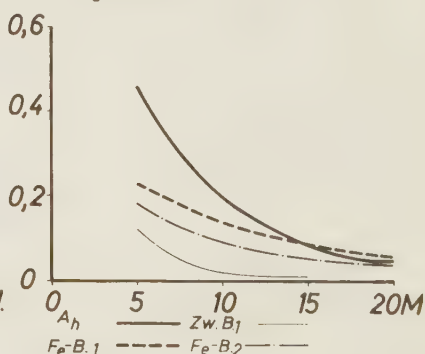
mval / 100 g Boden



mval / 100 g Boden



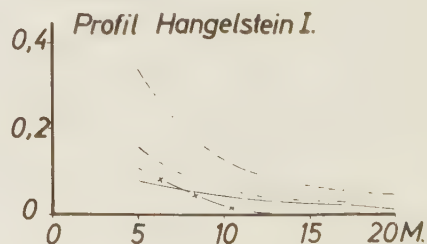
mval / 100 g Boden



$F_e-B.3$ - - - $T_o-B.2$ - - -
 $T_o-B.1$ ——— $Zw.B.2$ * - -

Abb. 6 (Forts.)

mval / 100 g Boden



ist die gegenüber den Auswaschungshorizonten höhere Austauschkapazität und das unzureichende Angebot an neutralisierenden Kationen sowie der amphotere Charakter der in diesen Horizonten angereicherten Sesquioxide anzuführen.

Die Basensättigung (V-Wert) nimmt allgemein mit der Tiefe zu, bedingt durch die Auswaschung aus den oberen Horizonten mit dem Sickerwasser und der Anreicherung in tieferen Horizonten. Im besonderen kommt dies in den Böden Schiffenberg und Ilbenstadt deutlich zum Ausdruck (Tab. 3).

Die geringen Gehalte an primären Mineralen in den überwiegend quarzsandhaltigen Böden, die starke Auswaschung und die sauren Humusformen, bedingt durch das nährstoffarme Substrat, fördern die intensive Versauerung. Dementsprechend liegen die pH-Werte (KCl), abgesehen von wenigen Ausnahmen, unter 4,5.

3.4. Kationennachlieferung

Zusätzlich zum S-Wert wurde die Kationennachlieferung mittels der Elektro-Ultrafiltration bestimmt (Abb. 6). Aus den Kurvenverläufen ist ersichtlich, daß die Gehalte an freien und sorbierten Alkali- und Erdalkalitionen sehr schnell abfallen. Außerdem sind die Titrationswerte relativ niedrig (Abb. 6).

Mit Ausnahme der Profile Schiffenberg und Ilbenstadt ist der Humuseffekt auf die Kationennachlieferung in den anderen Profilen sehr deutlich ausgeprägt. Die Titrationswerte der humusreichen A_h -Horizonte sind deutlich höher als die der humusarmen Unterböden. Der Ursprung ist darin zu suchen, daß die organische Substanz auf Grund ihrer komplexen Struktur die sorbierten Kationen langsamer abgibt als die anorganischen Austauschere, so daß eine kontinuierliche Nachlieferung an Ionen vorhanden ist.

Die tonreicheren S_d -, B_t - bzw. II B_t -Horizonte der Profile Schiffenberg und Ilbenstadt haben eine höhere Kationennachlieferung als die A_h -Horizonte. Der Einfluß des Tongehalts auf die Kationennachlieferung ist nicht nur in den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt, sondern auch in den anderen Profilen zu beobachten. In den sehr tonarmen Sandhorizonten sind die Titrationswerte sehr niedrig; außerdem hört die Kationennachlieferung nach 10 bzw. 15 Minuten auf, während in den tonreichen Horizonten sowohl die Titrationswerte, als auch die Nachlieferungsdauer höher sind.

Auffallend ist die relativ höhere Kationennachlieferung in dem tonarmen G_o -Horizont gegenüber dem A_h -Horizont des Profils Schiffenberg. Dies ist durch die höhere Basensättigung in dem G_o -Horizont gegenüber dem A_h -Horizont als Folge der Alkali- und Erdalkali-Ionenverdrängung und ihrer Anreicherung im G_o -Horizont zu erklären. Dies trifft auch für S_d -, B_t - und IIB B_t -Horizonte der Profile Schiffenberg und Ilbenstadt zu.

4. Organische Substanz

4.1. Organische Ausgangsstoffe

Entscheidend für die Zersetzbarkeit der Streu ist, neben anderen Faktoren, das C/N-Verhältnis. Hohe Stickstoffgehalte der organischen Ausgangsstoffe ermöglichen einen schnellen Abbau der Waldstreu. Als Grenze zwischen schnellem und langsamem Angriff durch Bodentiere und Mikroorganismen hat LAATSCH (1957) ein C/N-Verhältnis von 30 angenommen. LAATSCH (1957) ist der Meinung, daß die mikrobielle Leistung außerhalb des Mineralbodens in der Nadelstreu, sowie auch in der stickstoffarmen Laubstreu gering ist. MEYER (1962) konnte feststellen, daß im reinen Fichtenforst auf Basalt-

braunerde ein Moder entsteht, in dem die mikrobielle Aktivität geringere Werte erreicht sobald Pilze stärker hervortreten. LEHMANN, MEYER und SCHONLAU (1969) beobachteten bei sauren Braunerden den Streuabbau oberhalb des Mineralsubstrates unter erheblicher Mitwirkung der Makro-Pilze.

Ein nicht zu übersehender Faktor auf die Zersetzungsgeschwindigkeit ist der Ligningehalt der Streu. Je höher dieser ist, desto langsamer erfolgt auch im allgemeinen der mikrobielle Abbau. Schwer zersetzbar ist das Lignin in einer stickstoffarmen und basenarmen Umgebung, wobei der Ligningehalt der Streu solcher Standorte weitgehend die Säureproduktion in der L- und F-Lage bestimmt (LAATSCH, 1957). MEYER (1962) hat nachgewiesen, daß die stärker mit Lignin inkrustierten Gewebeteile (Hauptnerven der Buchenblätter und u.a. Epidermis der Fichtennadeln) der Zersetzung länger widerstehen als die ligninärmeren Gewebepartien.

Als Maß für die Zersetzbarkeitsgeschwindigkeit der organischen Ausgangsstoffe wird das Lignin/Zellulose-Verhältnis herangezogen. Holz zersetzt sich nach FIEDLER und REISSIG (1964) bei gleichen C/N-Verhältnissen leichter als Blatt- und Nadelstreu, da das Lignin-Zelluloseverhältnis in der Streu weiter ist als im Holz. Weiterhin ist für den Abbau auch das Säure-Basen-Verhältnis der Ausgangsstoffe von Bedeutung; hoher Gehalt an organischen Säuren sowie geringer Gehalt an Puffersubstanzen wirken sich hemmend aus.

4.1.1. Standortfaktoren

Einen nachdrücklichen Einfluß auf Zersetzung und Zusammensetzung der organischen Substanz und die Natur der Humushorizonte sowie auf die Tätigkeit der Mikroorganismen übt die chemische Zusammensetzung des Bodens aus. Kalkfreie

Böden aus Granit, Quarzit und Sandstein unter Wald begünstigen nach FIEDLER und REISSIG (1964) stark die Anhäufung unzersetzter organischer Substanz. Sie betonen, daß die Aufrechterhaltung eines guten Humuszustandes sich umso schwieriger gestaltet, je nährstoffärmer der Mineralboden ist. Niedrige pH-Werte des Bodens wirken sich hemmend auf die Aktivität der Bakterien und Actinomyceten und schließlich auf die Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz aus.

Von wesentlicher Bedeutung auf das Ausmaß und die Art der Zersetzung der organischen Substanz ist die physikalische Beschaffenheit des Bodens. Feintexturierte Substrate und anaerobe Bedingungen hemmen die Zersetzung, während gute Durchlüftung sie fördert. Hohe Feuchtigkeit, bedingt durch ungünstige Bodenverhältnisse, führen zur Bildung von Rohhumus. Äußerst hemmend auf die Zersetzung der organischen Substanz wirken sich sehr tiefe Temperaturen aus. Die im Spätherbst abfallende Laub- und Nadelstreu erfährt im Winter keine nennenswerten Veränderungen; erst im nächsten Frühjahr beginnt die Skelettierung und der Zerfall der Blätter (SCHEFFER und ULRICH, 1960); SCHEFFER und SCHACHT-SCHABEL, 1966; LAATSCH, 1957; KONONOVA, 1958; FIEDLER und REISSIG, 1964; WITTIG, 1952; WELTE, 1955; SPRINGER, 1952 u.a.).

4.2. Humus-Auflage

Bei den Profilen Daubringen, Hangelstein I, Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt - diese Profile liegen unter Wald - liegt ein 2 - 5 cm mächtiger O-Horizont auf dem Mineralboden. Die Mächtigkeit des O_1 -Horizontes der Humus-Auflage schwankt zwischen 1 - 3 cm (s. Profilbeschreibung). Sie richtet sich nach der Dichte des Baumbestandes und der Jahreszeit, in der die Proben entnommen wurden. Der O_1 -Horizont enthält zwischen 81,3 - 89,1 % organische Sub-

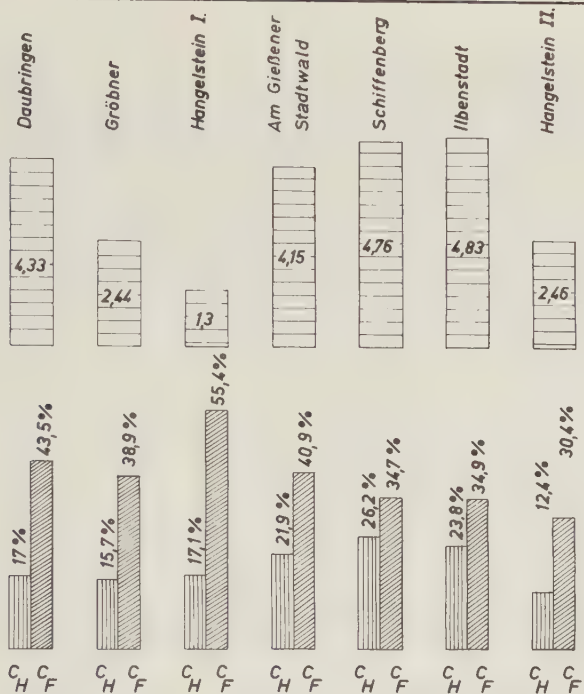


Abb. 7: Organische Substanz der A_h -Horizonte und deren
Huminsäure- und Fulvosäure-Anteile



org. Substanz



Huminsäuren



Fulvosäuren

C_F = Fulvosäuren

C_H = Huminsäuren

stanz (Glühverlust) (Tab. 5).

Mit Ausnahme des Profiles Ilbenstadt ist innerhalb der O_{fh} -Horizonte eine Differenzierung nicht möglich. In diesen Subhorizonten beträgt der Gehalt an organischer Substanz 28 - 54 %. (Auf das C/N-Verhältnis wird später eingegangen.) Die Grenze zu den A_h -Horizonten ist in allen Profilen deutlich ausgebildet. Die Humusform muß nach KUBIENA (1953) als Silikatmoder bzw. schlechter Moder (KOHL, 1965) angesprochen werden.

Die Reaktion des Auflagehumus ist erwartungsgemäß niedrig. Sie schwankt zwischen pH (KCl) 3,4 und 4,1 (Tab. 4).

Tabelle 4: pH-Werte der O-Horizonte

Profil	pH	pH
	H ₂ O	KCl
Daubringen	4,3	3,4
Hangelstein I	4,5	3,5
Am Gießener Stadtwald	4,8	4,1
Schiffenberg	3,5	3,4
Ilbenstadt	4,0	3,7

4.2.1. Organische Substanz der Mineralböden

Der Gehalt an organischer Substanz liegt in den A_h -Horizonten zwischen 1,30 und 4,83 % (Abb. 7, Tab. 5). Diese hohen Werte sind durch die relativ großen Mengen pflanzlicher und tierischer Rückstände bedingt. Die Profile mit Humusaufgabe (Daubringen, Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt) weisen in den A_h -Horizonten relativ konstante Werte zwischen 4,2 und 4,8 % auf. Eine Ausnahme macht jedoch Profil Hangelstein I mit nur 1,3 % im A_h -Horizont. Die Einwaschung organischer Substanz aus dem O-Horizont hat in die-

Tabelle 5: Organische Substanz und ihre Fraktionen, Stickstoff und C/N-Verhältnisse

Horizont	Org. Tiefe Subst. in cm in % 2)	N mg/100 g Boden	C %	mg C/100 g Boden				in % des Gesamt-C			
				C _t	C _H	C _F	C _{ex}	C _H	C _F	C _{ex}	C _F
PROFIL DAUBRINGEN											
O _l	1 86,2 ¹⁾	1337,2	37,4	49996	-	-	-	-	-	-	-
O _{fh}	1 37,4 ¹⁾	994,5	21,5	21692	3027	6550,8	9577,8	14,0	30,1	44,1	0,46
A _h	0- 4 4,33	219,8	11,4	2512	427,2	1093,8	1521,0	17,0	43,5	60,5	0,39
B _v	4-22 1,67	66,2	14,7	969	84,3	397,7	482,0	8,7	41,0	49,7	0,21
PROFIL GRÖBNER											
A _h	0-10 2,44	105,7	13,4	1415	222,4	550,9	773,3	15,7	38,9	54,6	0,43
A _e	10-24 0,27	15,6	10,0	157	11,3	42,1	53,4	7,2	26,8	34,0	0,26
B _s	24-41 0,13	-	-	75,4	12,4	29,2	41,6	16,4	38,9	55,3	0,42
PROFIL HANGELSTEIN I											
O _l	3 87,10 ¹⁾	1277,4	39,5	50618	-	-	-	-	-	-	-
O _{fh}	1 28,20 ¹⁾	879,3	18,6	16356	1848,4	7032,8	8881,2	11,3	42,9	54,2	0,26
A _h	0-10 1,30	60,6	12,4	754	128,8	417,8	546,6	17,1	55,4	72,5	0,31
Eisenband 1	10-11 0,33	-	-	191,4	56,2	100,9	157,1	29,4	52,7	82,1	0,55
Zwischenband 1	11-23 0,09	-	-	52,2	7,9	26,2	34,1	15,1	50,2	65,3	0,30
PROFIL AM GIESSENER STADTWALD											
O _l	1 82,1 ¹⁾	1196,4	39,8	47618	-	-	-	-	-	-	-
O _{fh}	2 47,8 ¹⁾	1114,6	24,8	27724	3837,1	8043,2	11880,3	13,8	29,0	42,8	0,47
A _h	0- 4 4,15	207,2	11,6	2407	527,3	984,7	1512,0	21,9	40,9	62,8	0,53
B _{v1}	4-15 1,05	-	-	609	137,9	261,9	399,8	22,6	42,9	65,5	0,52
B _{v2}	15-25 0,58	39,5	13,9	336,4	49,6	173,1	222,7	14,8	51,4	66,2	0,29
B _{v3}	25-30 0,19	-	-	110,2	26,6	44,3	70,9	22,9	40,5	63,4	0,56
PROFIL SCHIFFENBERG											
O _l	2 81,3 ¹⁾	1107,3	42,5	47154	-	-	-	-	-	-	-
O _{fh}	3 53,7 ¹⁾	1126,6	27,6	31146	4628,4	8495,2	13123,6	14,8	27,2	42,0	0,54
A _h	0- 5 4,76	204,3	13,5	2761	722,8	957,4	1680,2	26,2	34,7	60,9	0,75
S _w	5-25 2,48	74,7	19,1	1438	138,2	401,9	540,1	9,6	27,9	37,5	0,34
S _d	25-55 0,45	22,6	13,8	313	34,1	105,7	139,8	10,8	33,8	44,6	0,32
G _o	55-90 0,27	11,4	13,7	156	22,3	40,4	62,7	14,3	25,9	40,2	0,55
G _r	90 + 0,23	10,8	12,3	133	19,9	34,4	54,3	14,6	25,9	40,4	0,58
PROFIL ILBENSTADT											
O _l	1 89,1 ¹⁾	1080,7	47,8	51689	-	-	-	-	-	-	-
O _f	2 89,0 ¹⁾	1922,9	26,8	51626	-	-	-	-	-	-	-
O _h	1 49,4 ¹⁾	1937,0	14,8	28646	3900,4	8231,4	12131,8	13,6	28,7	42,3	0,47
A _h	0- 4 4,83	259,2	10,8	2802	666,8	977,5	1644,3	23,8	34,9	58,7	0,68
A _l	4-40 2,47	102,8	13,9	1433	143,9	488,8	632,7	10,0	34,1	44,1	0,29
E _t	40-80 0,58	29,8	11,2	336	24,8	119,4	144,2	7,4	35,5	42,9	0,21
II B _t	80-95 0,26	14,7	10,2	151	12,3	40,4	52,7	8,1	26,8	34,9	0,30
II C	95 + 0,06	Sp.	-	35	-	-	8,3	-	-	23,7	-
PROFIL HANGELSTEIN II											
A _h	0-10 2,46	118,4	12,1	1427	181,7	434,7	616,4	12,7	30,4	43,1	0,41
B _{v1}	10-20 0,99	60,6	5,3	574,2	116,2	207,8	324,0	20,2	36,2	56,4	0,56
B _{v2}	20-30 0,56			325	101,9	178,1	280,0	31,3	54,9	86,2	0,57

1) Glühverlust

2) Humus (C -Gehalt x 1,724)

ser jungen Bodenbildung noch kein großes Ausmaß erreicht. Der A_h -Horizont der Profile Gröbner und Hangelstein II enthält 2,44 % bzw. 4,46 % organische Substanz; die Zersetzung erfolgt schneller und es findet daher nur eine geringe Akkumulation statt. Im Profil Schiffenberg kann die Höhe des Gehaltes an organischer Substanz im A_h -Horizont auch durch schlechte Struktur und Staunässe verursacht worden sein.

In allen Profilen nimmt der Gehalt an organischer Substanz mit zunehmender Tiefe mehr oder weniger stark ab. Die Abnahme beträgt bei den Profilen Gröbner und Hangelstein I vom A_h -Horizont bis zum A_e -Horizont bzw. zum Eisenband 90 bzw. 75 %; bei den Profilen Daubringen, Am Gießener Stadtwald und Hangelstein II vom A_h zu den darunter liegenden Horizonten etwa 70 %, da hier die Bodenentwicklung intensiver ist als bei den Profilen Gröbner und Hangelstein I. Außerdem spielt in diesen Profilen die bessere Durchwurzelung und die Auswaschung eine nicht unbedeutende Rolle. Im Profil Schiffenberg beträgt die Abnahme vom A_h - bis zum S_w -Horizont etwa 50 %. Auch Profil Ilbenstadt zeigt einen Rückgang vom A_h - zum A_1 -Horizont um etwa 50 %. Die relativ niedrige Abnahme im Profil Schiffenberg ist nicht nur durch die Einwaschung, sondern auch durch die tiefere Durchwurzelung bedingt. Wegen der fehlenden Durchwurzelung im Profil Ilbenstadt dürfte die Anreicherung der organischen Substanz in den tieferen Horizonten allein auf die Verlagerung organischer Verbindungen zurückzuführen sein.

Der scharfe Rückgang des Humusgehaltes von den A_h -Horizonten zu den Unterböden aller Profile kann ferner durch niedrige pH-Werte (Tab. 3), weite C/N-Verhältnisse und höhere Ligningehalte der Ausgangsstoffe hervorgerufen werden. Dadurch wird die biologische Aktivität der Bodenorganismen gehemmt oder erniedrigt, was wiederum zu einer Störung oder zum Stillstand der biogenen mechanischen Durchmischung führt (Regenwürmer waren in diesen Profilen nicht vorhanden). Eine nen-

nenswerte Humusanreicherung im Unterboden kann daher nur durch Sickerwasser und Wurzelrückstände verursacht werden.

4.3. Huminstoffe

Die Huminstoffe bestehen aus hochpolymeren organischen Verbindungen höheren Molekulargewichtes von dunkler Farbe. Ausgangsstoffe der Huminstoffe bilden pflanzliche und tierische Rückstände sowie mikrobielle Stoffwechselprodukte. Die Huminstoffe werden durch die biologische oder abiologische Humifizierung der Ausgangsstoffe gebildet. Sie können nach ihrer Löslichkeit in verschiedenen Lösungsmitteln in Fulvosäuren, Huminsäuren und Humine unterteilt werden. Nach neueren Erkenntnissen bestehen gleitende Übergänge zwischen diesen Stoffgruppen. Die Huminstoffe werden als polymerhomologe Reihe aufgefaßt; die Fulvosäuren bilden die Vorstufe der Huminsäuren bzw. die Endglieder der Huminsäurezersetzung (WELTE, 1952; ZIECHMAN u. MEYER, 1960; FREYTAG, 1961). Nach FIEDLER und REISSIG (1964) versteht man unter dem Begriff "Fulvosäuren" Substanzen, die sich im ersten Stadium der Umwandlung von den Ausgangsstoffen zu den braunen bis schwarzen Endprodukten der Humifizierung befinden. Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) sind sie wasserlösliche, relativ niedermolekulare phenolische und chinoide Verbindungen; sie besitzen reduzierende und komplexbildende Eigenschaften.

Die Zusammensetzung der Huminsäuren entspricht der der Fulvosäuren, sie unterscheidet sich von diesen nur in dem Humifizierungsgrad (KOBO und TATSUKAWA, 1959, zit. in PREUSSE, 1969). Die Huminsäuren sind nach einem bestimmten Prinzip aufgebaute hochmolekulare Verbindungen. Ihre chemische Struktur, Kettenlänge, Vernetzung und Teilchengröße variieren. Die Teilchengröße und das Teilchengewicht der Huminsäuren sind infolge des höheren Humifizierungsgrades größer als die der Fulvosäuren (KONONOVA, 1958).

Die Huminstoffe, besonders aber die niedermolekularen wasserlöslichen Fulvosäuren, sind für die Pedogenese von wichtiger Bedeutung. Sie bilden mit den Fe- und Al-Ionen wasserlösliche metallorganische Komplexe und sind an den im Podsol ablaufenden Verlagerungsvorgängen beteiligt.

4.3.1. Säurelösliche organische Verbindungen

In dieser Fraktion befinden sich neben den freien Fulvosäuren auch Nichthuminstoffe (Kohlenhydrate, niedermolekulare organische Säuren, Proteine u.a. (KONONOVA, 1955)). Zu den Nichthuminstoffen zählen ferner die mikrobiellen Stoffwechselprodukte und Schleimstoffe. Die säurelöslichen Fulvosäuren bezeichnet man als aggressive (SCHLICHTING und BLUME, 1966), oder mobile Fulvosäuren (PREUSSE, 1969). Wegen ihrer Leichtlöslichkeit und -beweglichkeit hat diese Fraktion großen Einfluß auf pedogenetische Prozesse.

Der Gehalt dieser Fraktion bewegt sich zwischen 602,3 und 8,3 mg/100 g Boden. Ihr Maximum befindet sich erwartungsgemäß im O-Horizont und nimmt mit zunehmender Tiefe ab. In allen Profilen besteht ein klarer Zusammenhang zwischen dem absoluten Gehalt dieser Fraktion und dem Gesamtgehalt an Kohlenstoff, indem mit zunehmender Tiefe sowohl der Gesamtkohlenstoffgehalt als auch der absolute Gehalt an säurelöslichen Nichthuminstoffen und Fulvosäuren abnimmt (Tab. 5 und 6). Der relative Anteil (in % des Gesamt-C-Gehaltes) steigt dagegen bis in die Tiefe an, was auf eine Verlagerung dieser Substanz hindeutet. Auch die Tiefenfunktion ihres Anteiles am extrahierbaren Kohlenstoff deutet darauf hin (Tab. 7). Den relativen Werten zufolge werden diese organischen Verbindungen in den Profilen Daubringen, Gröbner, Hangelstein I, Ilbenstadt und Hangelstein II in dem gesamten Solum verlagert. In den Profilen Am Gießener Stadtwald und Schiffenberg nimmt der Anteil am Gesamt-C-Gehalt bis zum

Tabelle 6: Mobile (C_m) an Huminsäure gebundene ($C_F - C_m$) und Gesamt-Fulvosäuren (C_F)

Horizont	Tiefe in cm	mg C/100 g Boden			in % des Gesamt - C		
		C _s ¹⁾	C _F -C _s	C _F ²⁾	C _s	C _F -C _s	C _F
PROFIL DAUBRINGEN							
O _{fh}	1	563,9	5986,9	6550,8	2,6	27,6	30,2
A _{he}	0- 4	296,2	797,6	1093,8	11,7	31,8	43,5
B _{sv}	4-22	146,4	251,3	397,7	15,1	25,9	41,0
PROFIL GROßNER							
A _h	0-10	124,8	426,1	550,9	8,8	30,1	38,9
A _e	10-24	18,7	23,4	42,1	11,9	14,2	26,8
B _s	24-41	9,8	19,4	29,2	13,2	25,7	38,9
PROFIL HANGELSTEIN I							
C _{fh}	1	302,6	6730,2	7032,8	1,8	41,1	42,9
A _h	0-10	4,3	353,5	417,8	8,5	46,9	55,4
Eisenband 1	10-11	26,0	74,3	100,9	13,9	38,8	52,7
Zwischenband 1	11-23	8,3	17,9	26,2	15,9	34,3	50,2
PROFIL AM GIESSENER STADTWALD							
C _{fh}	2	534,4	7508,8	8043,2	1,9	27,1	29,0
A _h	0- 4	206,6	778,1	984,7	8,6	32,3	40,9
E _{v1}	4-15	93,5	168,4	261,9	15,3	27,6	42,9
E _{v2}	15-25	54,5	118,6	173,1	16,2	35,2	51,4
E _{v3}	25-50	15,6	28,7	44,3	14,1	26,4	40,5
PROFIL SCHI-FENBERG							
C _{fh}	3	602,8	7892,4	8495,2	1,9	25,3	27,2
A _h	0- 5	144,2	813,2	957,4	5,2	29,5	34,7
S _w	5-25	118,1	283,8	401,9	8,2	19,7	27,9
S _d	25-55	51,7	54,0	105,7	16,5	17,3	33,8
O _o	55-90	13,1	27,3	40,4	8,4	17,5	25,9
G _r	90 +	8,8	25,6	34,4	6,6	19,3	25,9
PROFIL ILBENSTADT							
O _h	1	556,6	7674,8	8231,4	1,9	26,8	28,7
A _h	0- 4	154,2	823,3	977,5	5,5	29,4	34,9
A _l	4-40	88,4	400,4	488,4	6,2	27,9	34,1
B _t	40-80	32,2	87,2	119,4	9,6	25,9	35,5
II B _t	80-95	24,6	15,8	40,4	16,2	10,6	26,8
PROFIL HANGELSTEIN II							
A _h	0-10	117,8	316,9	434,7	8,2	22,2	30,4
E _{v1}	10-20	86,7	121,1	207,8	15,1	21,1	36,2
E _{v2}	20-30	74,2	103,9	178,1	23,0	31,9	54,9

Anm.: 1) C_m = Säurelösliche Fulvosäuren (0,05 n H_2SO_4)

2) C_F = Gesamt-Fulvosäuren (1 n $Na_4P_2O_7$ - 0,1 n NaOH)

B_{v2}- bzw. S_d-Horizont zu, dann im Profil Am Gießener Stadtwald schwach ab. Dagegen ist die Abnahme im Profil Schiffenberg in den G_o- und G_r-Horizonten sehr groß. Die stärkste Verlagerung erfolgt im Profil Hangelstein II. Der Anteil an Nichthuminstoffen und Fulvosäuren beträgt in dem B_{v2} 23 % des Gesamt-C-Gehaltes.

4.3.2. Gesamt-Fulvosäuren

Die Gesamt-Fulvosäuren haben wiederum in den O-Horizonten ihr Maximum und nehmen mit zunehmender Tiefe ab. Es besteht in allen Profilen eine Beziehung zwischen dem Gehalt an Fulvosäuren (C_F) und dem Gesamtkohlenstoffgehalt; beide Fraktionen nehmen mit zunehmender Tiefe (Tab. 5 und 6) ab.

Der relative Anteil an Fulvosäuren (ausgedrückt in % des Gesamt-C-Gehaltes) liegt in den A_h-Horizonten zwischen 30 - 55 % (Tab. 5 und 6, Abb. 7). Bezogen auf den extrahierbaren Kohlenstoff (in % von C_{ex}) beträgt der Anteil an Fulvosäuren 57 - 76 %. In den Profilen Daubringen, Hangelstein I und Schiffenberg nimmt der relative Anteil mit zunehmender Tiefe ab; das bedeutet, daß eine geringe Verlagerung an Fulvosäuren in diesen Profilen stattgefunden hat. Der hohe Gehalt an Fulvosäuren im A_h-Horizont des Profils Schiffenberg (34,7 % des Gesamt-C-Gehaltes) ist vermutlich durch die Wirkung der Staunässe verursacht worden, da schlechte Struktur und Staunässe die mikrobielle Humifizierung hemmen. SATTAR (1967) hat das Gleiche beobachtet. Außerdem wurde in diesem Horizont der größte Teil der extrahierbaren organischen Substanz festgestellt.

Im Profil Ilbenstadt nimmt der Fulvosäurenanteil am Gesamtkohlenstoff vom A_h- bis A_l-Horizont ab, nimmt im B_t-Horizont zu und erreicht hier sein Maximum mit 35,5 %. Diese Beobachtung machte auch SATTAR (1967). Er ist der Meinung, daß die

Tabelle 7: Prozentualer Anteil der Fulvosäuren und Huminsäuren an der extrahierbaren organischen Substanz ($C_{ex} = 100$)

Horizont	Tiefe in cm	C_S	$C_F - C_S$	C_H	$C_F^{1)}$
PROFIL DAUBRINGEN					
O _{fh}	1	5,9	62,4	68,3	31,7
A _{he}	0- 4	19,3	52,6	71,9	28,1
B _{sv}	4-22	30,4	54,1	84,5	15,5
PROFIL GROENER					
A _h	0-10	16,1	55,1	71,2	28,8
A _e	10-24	35,5	43,3	78,8	22,8
B _s	24-41	23,9	46,5	70,4	29,6
PROFIL HANGELSTEIN I					
O _{fh}	1	3,3	75,8	79,1	20,9
A _h	0-10	11,7	64,7	76,4	23,6
Eisenband 1	10-11	16,9	47,2	64,1	35,9
Zwischenband 1	11-23	24,3	52,5	76,8	23,2
PROFIL AM GIESSENER STADTWALD					
O _{fh}	2	4,4	63,3	67,7	32,3
A _h	0- 4	13,7	51,4	65,1	34,9
B _{v1}	4-15	23,3	42,1	65,4	34,6
B _{v2}	15-25	24,5	53,2	77,7	22,3
B _{v3}	25-50	22,2	41,6	63,8	36,2
PROFIL SCHIFFENBERG					
O _{fh}	3	4,5	60,1	64,6	35,4
A _h	0- 5	8,5	48,4	56,9	43,1
S _w	5-25	21,9	52,5	74,4	25,6
S _d	25-55	36,9	38,7	75,6	24,4
G _o	55-90	20,9	43,5	64,4	35,6
PROFIL ILBENSTADT					
O _h	1	4,5	63,3	67,8	32,2
A _h	0- 4	9,3	50,1	59,4	40,6
A ₂	4-40	14,0	63,2	77,2	22,8
B _t	40-80	22,3	60,5	82,8	17,2
II B _t	80-95	46,4	30,2	76,6	23,4
PROFIL HANGELSTEIN II					
A _h	0-10	19,0	51,5	70,5	29,5
B _{v1}	10-20	26,7	37,4	64,1	35,9
B _{v3}	20-30	26,7	37,0	63,7	36,3

1) Nichtsäurefällbare Fraktion des $Na_4P_2O_7$ - NaOH - Extraktes

Anreicherung des Fulvosäurenanteils im Tonanreicherungs-horizont auf eine möglicherweise mit der Tonverlagerung einhergehende Wanderung von Fulvosäurenkomplexen hindeutet. Die tonreicheren Horizonte wie der S_d - bzw. der B_{v2} -Horizont der Profile Schiffenberg und Am Gießener Stadtwald besitzen ebenfalls höchste Anteile an Fulvosäuren. Es ist auch möglich, daß die Undurchlässigkeit dieser Horizonte die Wanderung von Fulvosäuren verhindert und infolgedessen eine Anreicherung durch die Adsorption mobiler Fulvosäuren an Ton über Sesquioxide zur Folge hat. Unterhalb dieser dichten Horizonte nimmt der Anteil an Fulvosäuren ab.

Die relative Zunahme an Fulvosäuren in den Unterböden der Profile Gröbner, Am Gießener Stadtwald, Ilbenstadt und Hangelstein II deutet, wie schon erwähnt, auf eine Verlagerung hin. Aus Tabelle 6 ist ersichtlich, daß hauptsächlich mobile Fulvosäuren verlagert werden, während die Verlagerung der an Huminsäuren gebundenen Fulvosäuren geringer ist. Dies ist am deutlichsten in den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt zu erkennen; es bedeutet, daß es sich bei der Anreicherung von Fulvosäuren im Unterboden hauptsächlich um freie Fulvosäuren handelt.

Abgesehen vom II B_t -Horizont des Profils Ilbenstadt ist der Gehalt der an Huminsäuren gebundenen Fulvosäuren höher als der Anteil an mobilen Fulvosäuren und Nichthuminstoffen. Diese Unterschiede sind im Oberboden ausgeprägter als im Unterboden, da die Mobilität der säurelöslichen Nichthuminstoffe und Fulvosäuren höher ist als die der an Huminsäuren gebundenen Fulvosäuren. Somit verbleibt der größte Teil dieser Fraktion im Oberboden, während säurelösliche Nichthuminstoffe und mobile Fulvosäuren mit dem Sickerwasser nach unten transportiert werden.

4.3.3. Huminsäuren

In allen Profilen sind die absoluten Werte an Huminsäuren in den O- bzw. A_h -Horizonten am höchsten und nehmen entsprechend dem Gesamtkohlenstoff mit zunehmender Tiefe ab. Die Werte bewegen sich zwischen 4628 und 8 mg C/100 g Boden (Tab. 5). Der relative Anteil in % des Gesamt-C-Gehaltes ist in den A_h -Horizonten der Profile Daubringen, Ilbenstadt und Schiffenberg am höchsten und nimmt ebenfalls mit der Tiefe ab. In diesen Profilen kann somit nicht mit einer Huminsäureverlagerung gerechnet werden, im Gegensatz zu den Profilen Gröbner und Hangelstein I, deren relativen Werte auf eine Anreicherung in dem B_s -Horizont bzw. in dem Eisenband 1 hinweisen. Wegen der schwachen Durchwurzelung und der stark sauren Reaktion ist eine überwiegend biologische Humifizierung in diesen Horizonten unwahrscheinlich. Vermutlich erfolgte die hier beobachtete Huminsäure-Anreicherung über die durch Sesquioxide geförderte Polymerisation eingewaschener Fulvosäuren. Daneben ist die Verlagerung niederpolymerer, in ihren Eigenschaften den Fulvosäuren nahestehender Huminsäuren, nicht auszuschließen.

Die Profile Am Gießener Stadtwald und Hangelstein II weisen, abgesehen vom B_{v2} -Horizont erstgenannten Profils, vergleichbare Tiefenfunktionen auf. Die Ursachen für diese Erscheinung sind nicht eindeutig zu klären. Die Vegetation (Gras) und die stärkere Durchwurzelung könnte zur in situ-Bildung geführt haben, obwohl die oben angeführte Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden kann. Auffallend stark ist die Abnahme des Huminsäureanteils in den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt vom A_h -Horizont (rd. 25 %) zu den tieferen Horizonten (rd. 10 %); vergleichbare Verhältnisse liegen auch in dem Profil Gröbner vor. Die Polymerisation ist, verglichen mit den Unterböden, in den A_h -Horizonten sehr ausgeprägt.

Als weiteres Kriterium der Huminstoffzusammensetzung wird

das Verhältnis Huminsäuren zu Fulvosäuren herangezogen; es liegt, abgesehen von wenigen Ausnahmen, unter 0,6 (Tab. 5); der Fulvosäurenanteil überwiegt sehr stark.

Das Überwiegen von Fulvosäuren gegenüber den Huminsäuren ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen. Die untersuchten Profile haben im allgemeinen eine schwache biologische Aktivität. Dies ist die Folge der ungünstigen Umweltbedingungen für die Bodenorganismen, besonders der Mikroorganismen (Bakterien und Actinomyceten), die in niedrigen pH-Werten und ungünstiger Nahrung der Lebewesen (weite C/N-Verhältnisse durch Laub- und Nadelstreu, höhere Gehalte an inkrustierenden Stoffen wie Lignin und höhere Säure-Basen-Verhältnisse u.a.) zum Ausdruck kommen. Deshalb verläuft die Humifizierung langsam unter Bildung von Zwischenprodukten. Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) werden die Fulvosäuren bei niedriger biologischer Aktivität gebildet. Bei einem stark podsolierten Boden in der UdSSR, in dem die biologische Aktivität sehr gering ist, wies KONONOVA (1958) nach, daß die Fulvosäuren im Humus vorherrschend sind und die Menge an Huminsäuren überflügeln. Auch DUCHAUFOUR und JACQUIN (1959) berichten über den Einfluß der biologischen Aktivität auf Polymerisationsgrad der löslichen organischen Stoffe. Die Fulvosäuren können nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) auch durch Depolymerisation von höheren molekularen Huminstoffen entstehen. SCHEFFER und ULRICH (1960) meinen, daß bei höherer Säurekonzentration und längerer Entwicklungsdauer ein Abbau von Hymatomelansäuren und Braunhuminsäuren zu Fulvosäuren eintritt.

Die nach Abzug der säurelöslichen Nichthuminstoffe und Fulvosäuren von den Gesamtfulvosäuren ermittelten Werte wurden von DORMAAR (1964) als die an Huminsäuren komplex gebundenen Fulvosäuren bezeichnet. PREUSSE (1969) stellte dagegen fest, daß diese Bezeichnung sehr problematisch sein dürfte. Um diesen Sachverhalt zu prüfen, wurden die Gehalte

an Gesamtfulvosäuren bzw. die "an Huminsäuren gebundene Fulvosäuren" den Huminsäuren gegenübergestellt. Die Beziehungen zwischen diesen Größen sind sowohl bei Verrechnung aller Profile (ohne Ilbenstadt) als auch für die einzelnen Profile, mit Ausnahme des Profils Hangelstein I, innerhalb einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $P = 1\%$ positiv gesichert (Tab. 8 und 9 ; Abb. 8 und 9).

In Anlehnung an die Verrechnung von PREUSSE ist aus dem Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der y-Achse und dem Mittelwert der Gesamtfulvosäurefraktion abzuleiten, daß, bei gemeinsamer Verrechnung, 26 % der Gesamtfulvosäuren nicht an Huminsäuren gebunden sind. Die einzelnen Profile verhalten sich aber unterschiedlich. Während in den Profilen Gröbner, Schiffenberg, Am Gießener Stadtwald und Ilbenstadt 3 bis 31 % der Gesamtfulvosäuren nicht an Huminsäuren gebunden sind, ist bei den Profilen Hangelstein I und II die Gesamtheit der Fulvosäuren an Huminsäuren gebunden.

Der Gehalt an gebundenen Fulvosäuren ist in allen Profilen höher als der Gehalt an Huminsäuren. Es besteht ein Zusammenhang zwischen beiden Größen, indem mit Zunahme des Huminsäuregehaltes auch der Gehalt an Fulvosäuren zunimmt (Abb. 9). Die Beziehungen zwischen den beiden Größen sind, wie schon erwähnt, hoch signifikant positiv. Bei Verrechnung aller Profile (ohne Ilbenstadt) sind etwa 16 % dieser Fulvosäuren nicht an Huminsäuren gebunden. Die Verrechnung der einzelnen Profile führt wiederum zu unterschiedlichen Resultaten.

In den Profilen Gröbner, Hangelstein I und II sind alle Fulvosäuren an Huminsäuren gebunden, während in den Profilen Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt 1,2, 14 und 27 % dieser Fulvosäurenfraktion nicht an Huminsäuren gebunden sind.

Tabelle 8: Beziehungen zwischen Huminsäuren C_H (x) und Gesamtfulvosäuren C_F (y)

Profil	r	n	P	$y = a + b \cdot x$	
Gesamt* 1)	+ 0,9475	20	1	+ 77,732	+ 1,627 x
Gröbner	+ 0,9997	3	1	+ 6,675	+ 2,447 x
Hangelstein I ¹⁾	+ 0,9742	3	5	- 32,382	+ 3,328 x
Schiffenberg ¹⁾	+ 0,9734	5	1	+ 71,765	+ 1,261 x
Hangelstein II	+ 0,9980	3	1	-162,345	+ 3,279 x
Am Gießener Stadtwald ¹⁾	+ 0,9960	4	1	+ 31,573	+ 1,804 x
Ilbenstadt ¹⁾	+ 0,9605	4	1	+124,614	+ 1,330 x

Anmerkung: * = ohne Profil Ilbenstadt

1)= ohne O-Horizont

Tabelle 9: Beziehungen zwischen Huminsäuren (x) und "an Huminsäuren gebundene Fulvosäuren" (y)

Profil					
Gesamt* 1)	+ 0,9250	20	1	+ 38,845	+ 1,329 x
Gröbner	+ 0,9991	3	1	- 1,368	+ 1,922 x
Hangelstein I ¹⁾	+ 0,9688	3	5	- 35,382	+ 2,861 x
Schiffenberg ¹⁾	+ 0,9868	5	1	+ 34,845	+ 1,099 x
Hangelstein II	+ 0,9954	3	1	-188,249	+ 2,768 x
Am Gießener Stadtwald ¹⁾	+ 0,9952	4	1	+ 3,157	+ 1,458 x
Ilbenstadt 1)	+ 0,9612	4	1	+ 89,123	+ 1,144 x

Anmerkung: * = ohne Profil Ilbenstadt

1)= ohne O-Horizont

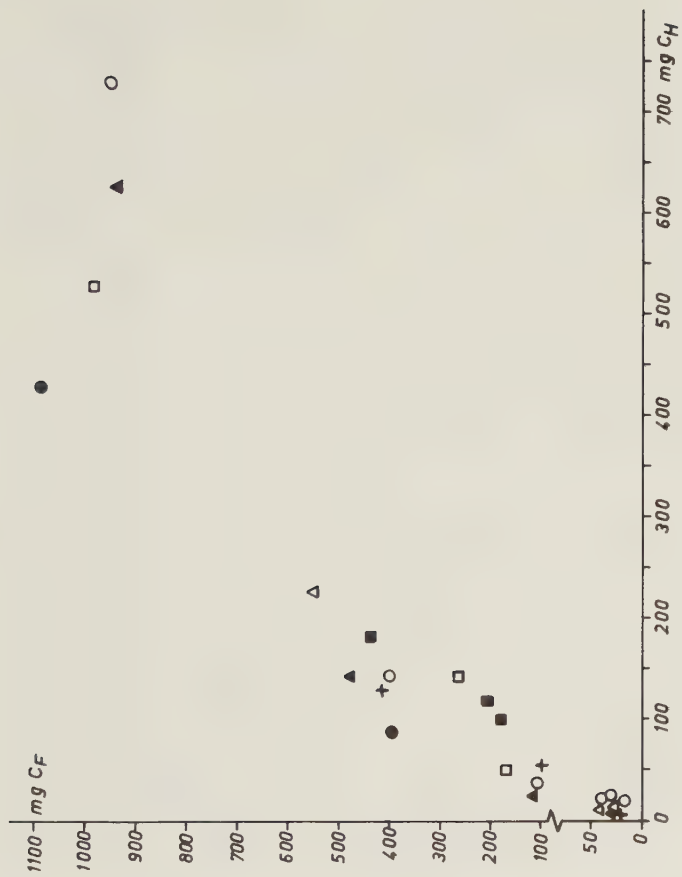


Abb. 6: Huminsäuren und Gesamtfulvosäuren

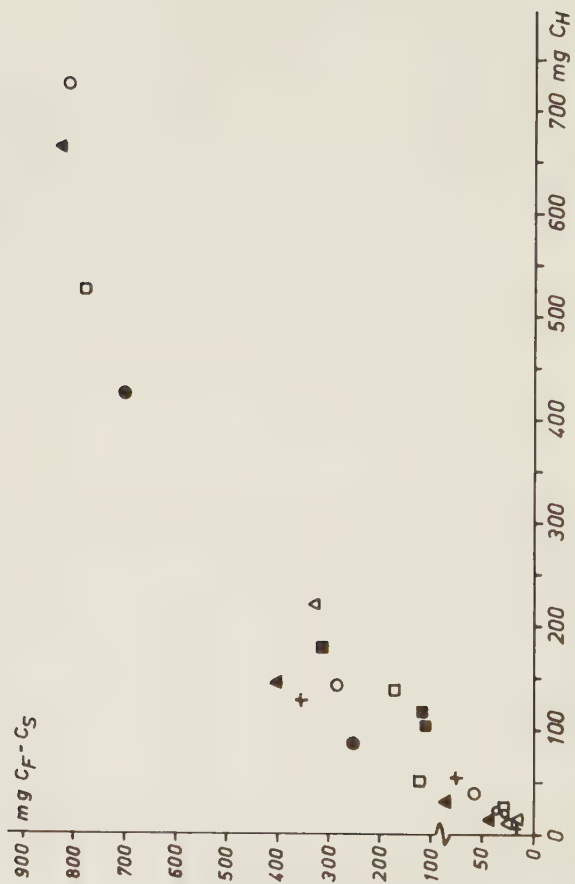


Abb. 9: Huminsäuren und an Huminsäuren gebundene Fulvosäuren

Aus den Ergebnissen ist zu ersehen, daß sich die untersuchten Böden unterschiedlich hinsichtlich der Extraktion säurelöslicher Huminstoffe bzw. der Bindungsintensität der Fulvosäuren an den Huminsäuren verhalten. Die Ergebnisse bei Verrechnung aller Horizonte (ohne Ilbenstadt) bzw. der einzelnen Profile Schiffenberg, Am Gießener Stadtwald und Ilbenstadt stimmen mit den Befunden von PREUSSE (1969) überein, wonach nicht alle Fulvosäuren an Huminsäuren gebunden sind. In den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt ist wegen der niedrigen pH-Werte einerseits und wegen der Bodenverdichtung und Staunässe andererseits der Anteil an Fulvosäuren relativ größer als der der Huminsäuren, so daß ein Teil der Fulvosäuren nicht an Huminsäuren gebunden werden kann.

Von dem gesamten Kohlenstoff liegen zwischen 34 und 86 % als extrahierbare organische Verbindungen vor (Tab. 5). Abgesehen von den untersten Horizonten der Profile Schiffenberg und Ilbenstadt sind die Werte in den O-Horizonten niedriger als die der Mineralböden. Der Grund dafür kann die Auswaschung löslicher Substanzen aus den O-Horizonten sein. Die Einwaschung dieser leichtlöslichen organischen Substanzen in den Mineralboden zieht eine Erhöhung der Extraktionsrate nach sich. Dabei ist die Extraktion in den Profilen ohne nennenswerte Huminstoffverlagerung innerhalb der Mineralbodenhorizonte in den A_n -Horizonten am höchsten, während die Huminstoffverlagerung in den Profilen Gröbner, Hangelstein I und Hangelstein II sich auch in einem höheren Anteil extrahierbarer organischer Substanzen in den Anreicherungs-horizonten äußert. In diesen Horizonten sind die Gehalte an freien Sesquioxiden und/oder Ton relativ hoch. Dieser Befund spricht für eine gemeinsame Verlagerung dieser Verbindungen mit organischen Substanzen.

4.4. Stickstoff und C/N-Verhältnis

Der Stickstoffgehalt ist von der Qualität und Quantität der organischen Substanz abhängig. Er nimmt in allen Profilen mit der Tiefe und der Abnahme der organischen Substanz ab.

Die Maxima an Stickstoff befinden sich im O_1 -Horizont der Humusauflage. Er beträgt zwischen 1081 - 1337 mg/100 g Boden. Dieser hohe Gehalt ist eine Folge der hohen Anteile an organischer Substanz, die um 81 - 89 % variiert. Der Gehalt an Stickstoff erreicht sein Minimum im Unterboden (11 - 66 mg/100 g Boden), in dem auch die organische Substanz sich im Minimum befindet (Tab. 5).

Die O_1 -Horizonte der Profile Daubringen, Hangelstein I, Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt haben ein weites C/N-Verhältnis (37 - 48), bedingt durch den geringen Stickstoffgehalt der Bestandsabfälle (Kiefer, Fichte, Buche und Eiche) (WITTICH, 1943, in SCHEFFER und ULRICH, 1960; HÖHNE, 1963). In der O_{fh} -Lage verengt sich das C/N-Verhältnis und erreicht 15 - 25, weil hier die Zersetzung weiter fortgeschritten ist. In den Mineralboden-Horizonten liegen diese Verhältnisse, abgesehen von nur einer Ausnahme, als Folge der intensiveren Humifizierung, unter 15. Bei den Profilen Daubringen, Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt fällt auf, daß das C/N-Verhältnis im A_h -Horizont enger ist als im Unterboden. Dies ist wahrscheinlich auf den höheren Huminsäuregehalt dieser Horizonte zurückzuführen, da die hochmolekularen Huminsäuren nach FIEDLER und REISSIG (1964) mehr Stickstoff als die niedermolekularen Fulvosäuren enthalten.

5. Die chemische Zusammensetzung der Feinböden

Die chemische Zusammensetzung der Feinböden gibt Hinweise auf die mineralogische Zusammensetzung und, unter Berücksichtigung der freien Oxide, auf pedogenetische Prozesse, wie Verwitterung, Stoffverlagerung im Sinne der Lessivierung und Podsolierung sowie auf den Grund- und Stauwassereinfluß. Verwitterung und Stoffverlagerung ziehen eine Umverteilung einzelner Komponenten innerhalb eines Horizontes bzw. Profiles nach sich, dessen Ausmaß vor allem durch die Verteilung der freien Oxide gekennzeichnet ist.

Bei der Auswertung vorliegender Ergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, daß es sich in allen Fällen um Bodenbildungen aus Sedimenten handelt und somit die Verteilung in silikatisch gebundene und freie Oxide z.T. schon vorgegeben sein kann. Der Homogenitätsnachweis sagt in dieser Richtung wenig aus, da er sich nur auf die Korngrößenverhältnisse und nicht auf die mineralogische bzw. chemische Zusammensetzung bezieht.

5.1. Die Gesamtgehalte an Oxiden

5.1.1. Eisenoxide

Der Gesamtgehalt beträgt in allen Bodenprofilen zwischen 0,25 und 5,53 % (Tab. 10). In den Profilen Daubringen und Hangelstein II ist dieser in den B_{sv} - bzw. B_{v2} -Horizonten mit 1,48 bzw. 4,64 % höher als in den A_{he} - bzw. A_n -Horizonten (1,16 bzw. 3,45 %). Er nimmt mit zunehmender Tiefe in den Profilen Gröbner und Am Gießener Stadtwald zu, erreicht im $(A_e B_s)^x$ - bzw. B_{v2} -Horizont mit 0,90 bzw. 1,76 % sein Maximum und nimmt anschließend in beiden Profilen wieder ab.

Ausgesprochen inhomogen ist die Verteilung im Profil Hangelstein I, hervorgerufen durch drei geringmächtige eisenhaltige Bänder, die jeweils unter eisenarmen Horizonten liegen. Die beiden obersten Bänder sind bräunlich verfärbt, während das untere Band durch einen rötlichen Farbton gekennzeichnet ist. Unterhalb des zweiten Bandes nehmen die Gehalte an Eisen bei diffuser Verteilung ab, während der Tongehalt schwach zunimmt. Der Fe-Gehalt des obersten Bandes ist mit 4,68 % am höchsten, während die beiden anderen Bänder geringere Werte aufweisen. In den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt liegt der Gehalt an Gesamteisen in den A_h -Horizonten mit 1,65 und 2,46 % höher als in den S_w - bzw. A_l -Horizonten mit 1,13 und 1,87 %. Mit der Tiefe steigen die Werte an, erreichen in den S_d - und II B_t -Horizonten mit 2,63 bzw. 5,53 % ihr Maximum und nehmen dann im G_o - bzw. G_r - und II C-Horizont ab.

Abgesehen von den obersten Horizonten des Profils Gröbner verlaufen Tongehalt und Eisengehalt in etwa parallel (Abb. 10). Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, daß in der Tonfraktion Fe-haltige sekundäre silikatische Minerale und Fe-Oxide angereichert sind, während die gröberen Fraktionen überwiegend aus Quarz zusammengesetzt sind. Die Beziehung zwischen Ton und Gesamt- Fe_2O_3 ist mit + 0,4840 gesichert (Tab. 11). Wegen des niedrigeren Tongehaltes und des höheren Gehaltes an Quarzsand weisen die Profile Daubringen, Gröbner, Hangelstein I und Am Gießener Stadtwald einen niedrigeren Eisengehalt als die anderen Profile auf.

5.1.2. Aluminiumoxide

Der Gesamtgehalt an Al_2O_3 ist in allen untersuchten Böden höher als der Gesamteisenoxid-Gehalt. Er schwankt zwischen 0,91 und 16,38 % (Tab. 10). In den Profilen Daubringen,

Tabelle 10: Kieselsäure, Sesquioxide und Glühverlust in % des lufttrockenen Feinbodens

Horizont	Tiefe in cm	Gesamt			Frei			Gebunden			Glüh- verlust
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ ¹⁾	Al ₂ O ₃ ¹⁾	Fe ₂ O ₃ ²⁾	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	
PROFIL DAUBRINEN											
A _{he}	0-4	79,76	3,18	1,16	0,46	0,24	0,67	79,30	2,94	0,49	7,79
B _{av}	4-22	85,37	4,18	1,48	0,36	0,43	0,94	85,01	3,75	0,54	2,99
PROFIL GROBHER											
A _h	0-10	87,63	1,83	0,48	0,26	0,08	0,21	87,37	1,75	0,27	2,98
B _e	10-24	86,97	3,71	0,53	0,16	0,12	0,23	86,81	3,59	0,30	1,15
B _a	24-41	90,31	2,41	0,54	0,31	0,15	0,26	90,00	2,26	0,28	1,41
(AeBs) ^x	41-65	86,09	5,34	0,90	0,32	0,08	0,13	85,77	5,26	0,77	0,18
C	65+	90,71	0,91	0,32	0,13	0,01	0,03	95,58	0,90	0,29	1,10
PROFIL HANGELSTEIN I											
O	-	-	-	-	-	0,3'	0,39	-	-	-	-
A _h	0-10	93,02	1,66	0,71	0,40	0,09	0,20	92,62	1,57	0,51	1,66
Eisenband 1	10-11	83,76	3,23	4,68	0,44	0,30	0,50	83,32	2,93	4,18	1,02
Zwischenband 1	11-23	96,23	0,91	0,28	0,41	0,03	0,04	95,82	0,88	0,24	0,23
Eisenband 2	23-27	89,63	2,26	2,67	0,45	0,26	0,31	89,18	2,00	2,36	0,87
Tonband 1	27-37	87,84	2,32	0,98	0,42	0,23	0,20	87,42	2,09	0,76	0,84
Tonband 2	37-53	86,25	2,48	0,44	0,46	0,45	0,07	85,79	2,03	0,37	0,72
Zwischenband 2	53-70	94,81	1,32	0,25	0,39	0,10	0,03	94,42	1,22	0,22	0,33
Eisenband 3	70-85	90,76	2,73	0,82	0,20	0,16	0,26	90,56	2,57	0,56	1,04
PROFIL AM GIESSENER STADT WALD											
O	-	-	-	-	-	0,51	0,69	-	-	-	-
A _h	0-4	82,67	3,01	1,71	0,47	0,62	1,61	82,20	2,39	1,10	7,52
B _{v1}	4-15	83,73	4,22	1,36	0,54	0,39	0,54	83,19	3,83	0,82	4,68
B _{v2}	15-25	81,66	4,48	1,76	0,40	0,60	0,74	81,26	3,88	1,02	2,02
B _{v3}	25-50	90,91	1,95	1,20	0,29	0,43	0,41	90,62	1,52	0,79	0,97
C	50+	95,26	1,27	0,69	0,29	0,30	0,12	94,97	0,97	0,57	0,83
PROFIL SCHIFFENBERG											
A _h	0-5	75,27	6,32	1,65	0,56	0,42	0,48	74,71	5,90	1,17	11,10
S _w	5-25	80,86	6,71	1,13	0,64	0,33	0,29	80,22	6,38	0,84	3,62
S _d	25-55	79,71	8,91	2,63	0,34	0,38	0,24	79,37	8,53	2,39	3,17
G _o	55-90	85,17	4,57	1,98	0,48	0,26	0,34	84,69	4,31	1,64	1,62
G _r	90+	89,04	4,31	1,23	0,42	0,20	0,22	88,62	4,11	1,01	1,73
PROFIL ILBENSTADT											
A _h	0-4	78,86	5,41	2,46	1,18	0,71	0,75	77,68	4,70	1,71	8,64
A ₁	4-40	82,20	5,96	1,87	1,08	0,57	0,73	81,12	5,39	1,14	3,98
B _t	40-80	77,54	7,22	2,36	0,70	0,64	0,86	76,84	6,58	1,50	2,19
IIB _t	80-95	66,48	16,38	5,53	0,46	0,70	1,14	66,02	15,68	4,39	5,61
IIC	95+	90,76	4,46	2,28	0,46	0,40	0,49	90,30	4,06	1,79	1,67
PROFIL HANGELSTEIN II											
A _h	0-10	83,67	7,06	3,45	0,39	0,31	0,94	83,28	6,75	2,51	4,40
B _{v1}	10-20	84,42	7,21	3,55	0,44	0,42	1,24	83,98	6,79	2,31	2,44
B _{v2}	20-30	81,53	8,16	4,64	0,35	0,56	1,40	81,18	7,60	3,24	2,16

1) 0,5 n NaOH-löslich (Methode FOSTER)

2) Na-Citrat-Bicarbonat-Dithionit (Methode MEHRA und JACKSON)

Abb. 10:

Verteilung von Gesamt Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 und Ton

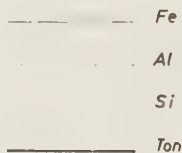
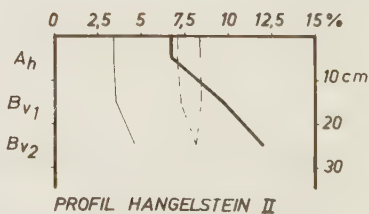
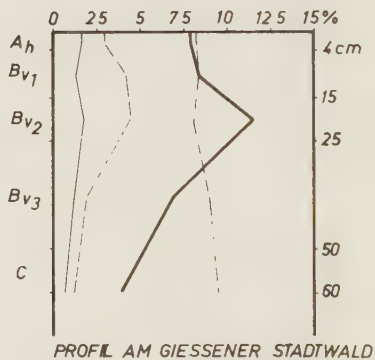
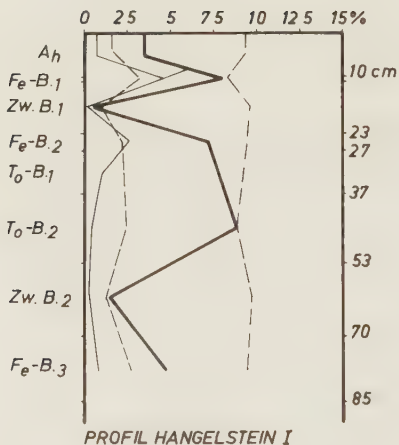
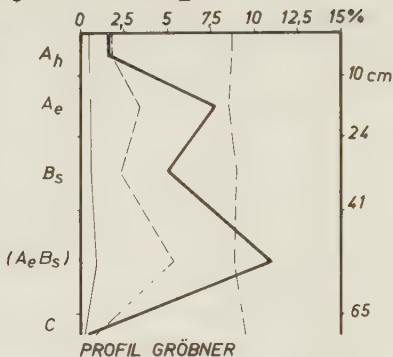
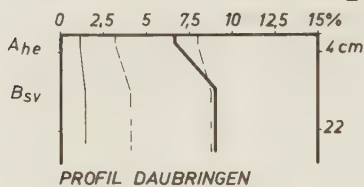
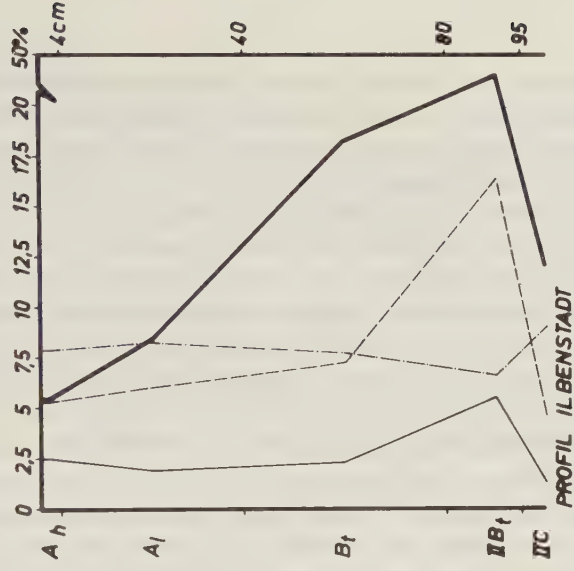
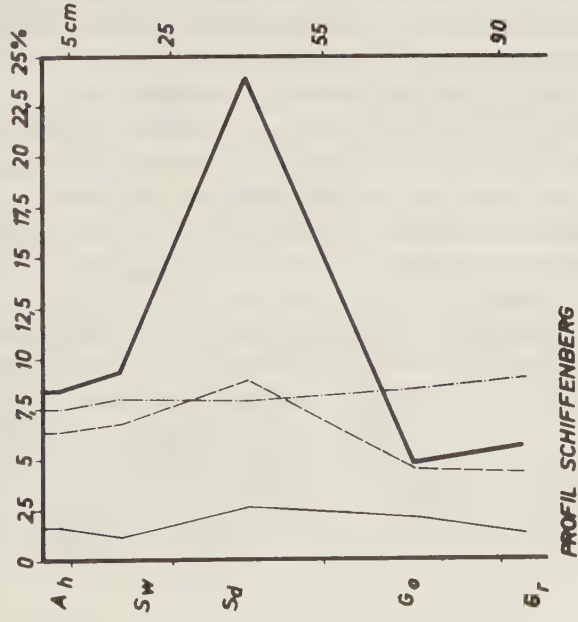


Abb. 10 (Forts.): Verteilung von Gesamt Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 und Ton



Hangelstein II und Am Gießener Stadtwald zeigt der Gesamtaluminiumgehalt die gleiche Tendenz wie der Gesamteisengehalt. Er steigt in den A_{he} - bzw. A_h -Horizonten an, erreicht im Profil Am Gießener Stadtwald im B_{v2} -Horizont sein Maximum und nimmt dann wieder ab. In den Profilen Gröbner und Hangelstein I geht der Gesamtgehalt an Al_2O_3 dem Tongehalt parallel, die Werte liegen in den Tonanreicherungs-horizonten höher als in den tonarmen Auswaschungshorizonten (Tab. 10, Abb. 10). In den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt steigt dieser Wert vom A_h - bis zum S_d - bzw. II B_t -Horizont, erreicht sein Maximum und nimmt in den sandreichen G_o - und G_r -Horizonten bzw. im II C-Horizont wieder ab.

Der Gehalt an Gesamtaluminium in den Profilen Daubringen, Gröbner, Hangelstein I und Am Gießener Stadtwald liegt, wie es bei dem Eisen der Fall ist, niedriger als in den anderen Profilen, hervorgerufen durch den hohen Gehalt an Quarzsand bei sehr geringem Tongehalt (Tab. 2). Zwischen Tongehalt und dem Gehalt an Gesamt-Al-Oxiden bestehen somit ebenfalls Übereinstimmungen in der Tiefenfunktion. Besonders deutlich ist diese Beziehung in den Profilen Hangelstein I, Schiffenberg und Ilbenstadt.

Die Beziehung zwischen Ton und Gesamt Al_2O_3 ist mit + 0,7694 gesichert. Die Beziehung zwischen Ton und Gesamt Al_2O_3 ist enger als die zwischen Ton und Gesamt Fe_2O_3 , da die Tonfraktion höhere Anteile Al als Fe in silikatischen Mineralien enthält (Tab. 11).

Tabelle 11: Beziehungen zwischen Ton (x) und Gesamt- Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 (y)

Profil	Ton: Al_2O_3	Ton: Fe_2O_3	Ton: SiO_2
Gesamt r	+ 0,7694	+ 0,4840	- 0,6784
(n = 28)p	1	1	1

5.1.3. Kieselsäure

Der Gehalt an Gesamt-SiO₂ liegt in allen Profilen zwischen 66,48 und 96,23 %. Er ist im Profil Daubringen, wie bei dem Gesamtgehalt an Fe₂O₃ und Al₂O₃, im B_{sv}-Horizont (85,37 %) höher als im A_{he}-Horizont (79,76 %). Während der Gehalt an Gesamt-SiO₂ im Profil Hangelstein II vom A_h- bis B_{v1}-Horizont etwas ansteigt, nimmt er im B_{v2}-Horizont ab. Auch im Profil Am Gießener Stadtwald befindet sich der Gehalt an SiO₂ im B_{v2}-Horizont im Minimum. Wegen des hohen Quarzsandgehaltes weisen die Profile Gröbner und Hangelstein I sehr hohe Werte auf (83,76 bis 96,23 %). In den Tonanreicherungs-horizonten sind die Werte wiederum niedriger als in den Auswaschungshorizonten. Bei den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt ist der Gehalt an Gesamt-SiO₂ in den A_h-Horizonten niedriger als im S_w- bzw. A₁-Horizont und nimmt dann in den S_d- bzw. II B_t-Horizonten ab.

Aus Abbildung 10 geht eindeutig hervor, daß in den Horizonten, die mehr Ton, Gesamt-Fe₂O₃ und -Al₂O₃ aufweisen, niedrigere Gehalte an Gesamt-SiO₂ vorhanden sind. Die Beziehung zwischen Ton und Gesamt-SiO₂ ist mit - 0,6784 gesichert (Tab. 11). Die negative Beziehung zeigt, daß das SiO₂ hauptsächlich dem Quarz entstammt.

5.1.4. Molekularverhältnisse

Um ein klares Bild über die Verteilung der Oxide und das Verhältnis einzelner Elemente zueinander zu erhalten, geben die Molekularverhältnisse eine bessere Auskunft als die absoluten Werte. Sie sagen auch mehr über die Verlagerungsvorgänge einzelner Elemente innerhalb des Profils aus. Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) vermitteln sie aber nur relative Aussagen über den Verwitterungsgrad eines Sediments oder Bodens. Nach GOLDICH (1938, zit. in PREUSSE, 1957) besteht das Hauptmerkmal der Verwitterung in einer

Abnahme der Kieselsäure und in einer Zunahme der Sesquioxide. PREUSSE (1957) hat in Böden verschiedener Ausgangsgesteine festgestellt, daß die Tonfraktion der Böden gegenüber den Ausgangsgesteinen kieselensäureärmer und sesquioxidreicher und daß folglich die Molekularverhältnisse $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ der Kolloide enger sind als die der Ausgangsgesteine. Für Feinböden konnte dagegen keine einheitliche Tendenz festgestellt werden.

Aus der bei der Podsolierung bevorzugten Verlagerung von Eisen und Aluminium resultiert die vielfach festgestellte Verengung des $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ -Verhältnisses sowohl des gesamten Bodenmaterials als auch der Tonfraktion im B-Horizont und Erweiterung im A-Horizont (KUNDLER, 1957). KUNDLER (1957) ist auch der Meinung, daß nicht ohne weiteres auf eine Podsolierung geschlossen werden kann, wenn die Gesamt- $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse im A-Horizont weiter sind als im B-Horizont. Er vertritt die Meinung, daß dieses Verhältnis schon allein durch eine Tonverlagerung verändert werden kann, da die Tonfraktion fast immer sesquioxidreicher und kieselensäureärmer ist als der Gesamtboden wegen des höheren Quarzgehaltes in den gröberen Fraktionen.

Bei braunen Waldböden Skandinaviens ohne Merkmale einer Verlagerung von Ton und Sesquioxiden waren die Gesamt- $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse im gesamten Profil, einschließlich dem C-Horizont, annähernd gleich (LUNDBLAD, 1942 und AARNIO, 1925, zit. in KUNDLER, 1957). Nach KUNDLER (1957) hat auch BOLDWIN in Gray-Brown Podsollic Soils des mittleren Ostens der USA festgestellt, daß das Gesamt- $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ -Verhältnis im A-Horizont deutlich weiter war als im B-Horizont. SATTAR (1967) konnte den Befund KUNDLER's hinsichtlich der Parabraunerde bestätigen.

Die Molekularverhältnisse $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ bzw. Al_2O_3 und Fe_2O_3 sind in den B-Horizonten der Profile Daubringen, Am Gießener

Tabelle 12: Molekularverhältnisse der Oxide

Horizont	Tiefe in cm	Gesamt				Frei				SiO ₂ R ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ Fe ₂ O ₃	SiO ₂ Fe ₂ O ₃
		SiO ₂ R ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃					
PROFIL DAUBRINGEN													
A _{he}	0-4	34,92	42,48	184,31	2,64	1,18	3,24	1,83	0,56	41,42	45,82	425,71	9,29
B _{sv}	4-22	29,21	34,60	154,45	4,45	0,59	1,42	1,02	0,71	35,24	38,47	418,25	10,88
PROFIL GROßNER													
A _h	0-10	69,44	81,01	466,10	6,00	2,07	5,55	3,30	0,60	77,18	84,78	860,34	10,15
A _e	10-24	37,39	40,19	438,48	10,91	1,02	2,27	1,85	0,81	38,68	41,02	769,25	18,75
B _h	24-41	55,66	63,64	455,15	7,15	1,66	3,51	3,18	0,90	62,60	67,57	854,39	12,64
(AeBe) ^x	41-65	24,74	27,39	255,78	9,34	3,33	6,79	6,53	0,96	25,35	27,71	296,74	10,71
C	65+	144,78	178,95	796,35	4,45	7,07	22,07	11,50	0,52	149,63	180,34	873,96	4,84
PROFIL HANGELSTEIN I													
A _h	0-10	74,78	95,55	351,81	3,68	3,00	7,55	5,32	0,70	82,91	100,08	481,65	4,81
Eisenband 1	10-11	22,85	43,97	47,57	1,08	1,21	2,49	2,34	0,94	25,31	48,32	53,13	1,10
Zwischenband 1	11-23	149,62	180,00	942,35	5,23	12,54	23,21	27,29	1,18	157,41	184,77	1061,25	5,72
Eisenband 2	23-27	38,34	67,19	89,32	1,33	1,67	2,94	3,86	1,34	43,27	75,72	100,96	1,33
Tonband 1	27-37	50,70	64,44	230,46	3,70	1,99	3,11	5,59	1,80	57,29	70,99	296,86	4,18
Tonband 2	37-53	58,34	59,01	512,60	8,68	1,58	2,73	17,48	10,07	63,99	71,39	618,05	8,66
Zwischenband 2	53-70	116,70	122,31	986,12	8,06	5,56	6,62	34,52	5,21	117,79	131,38	1138,63	8,66
Eisenband 3	70-85	47,20	56,36	296,19	5,25	1,04	2,12	2,04	0,96	52,51	59,79	429,85	7,19
PROFIL AM GLESENER STADTWALD													
A _h	0-4	34,28	46,63	128,57	2,76	0,74	1,16	2,05	1,77	46,17	60,16	198,92	3,31
B _{v1}	4-15	27,92	33,66	163,92	4,87	1,28	2,48	2,66	1,07	32,34	36,72	271,45	7,39
B _{v2}	15-25	24,75	30,95	123,53	3,99	0,63	1,13	1,44	1,27	30,46	35,59	211,62	5,94
B _{v3}	25-50	56,87	79,20	201,72	2,54	0,71	1,14	1,88	1,64	76,05	101,21	305,28	3,02
C	50+	94,59	127,83	368,65	2,88	1,31	1,64	6,43	3,91	121,01	166,13	442,71	2,66
PROFIL SCHIFFENBERG													
A _h	1-5	17,33	20,19	137,58	6,81	1,31	2,26	3,10	1,37	19,27	21,77	169,85	7,80
S _w	5-15	18,48	20,44	189,52	9,27	2,11	3,28	5,86	1,78	19,71	21,33	253,85	11,89
S _d	25-55	12,79	15,19	80,88	5,32	1,08	1,52	3,77	2,48	13,40	15,78	88,33	5,58
G _o	55-90	24,67	31,64	115,22	3,64	1,71	3,13	3,75	1,19	26,70	19,62	136,18	6,98
G _r	90+	26,32	32,16	145,27	5,49	2,09	3,57	4,99	1,42	31,64	36,59	233,72	6,39
PROFIL ILBENSTADT													
A _h	0-4	19,19	24,72	85,22	3,45	1,71	2,82	4,36	1,55	22,78	28,16	120,74	4,29
A ₁	4-40	17,97	23,42	116,91	4,99	1,77	3,21	3,93	1,22	22,57	25,53	189,34	7,41
B _t	40-80	15,05	18,22	67,19	4,78	0,99	1,86	2,16	1,16	17,31	19,83	136,10	6,86
IIB _t	80-95	5,96	6,89	31,96	4,64	0,60	1,12	1,30	1,15	6,07	7,15	40,03	5,59
IIC	95+	25,93	34,56	106,34	3,08	1,10	1,95	2,46	1,28	29,47	37,76	134,29	3,56
PROFIL HANGELSTEIN II													
A _h	0-10	15,34	20,13	64,48	3,20	0,73	2,13	1,10	0,52	16,93	20,74	88,25	4,21
B _{v1}	10-20	15,12	19,87	63,28	3,18	0,62	1,78	0,94	0,53	17,25	20,98	97,04	4,62
B _{v2}	20-30	12,45	16,96	46,78	2,76	0,41	1,06	0,66	0,62	14,25	18,13	66,54	3,67

Stadtwald, Ilbenstadt und Hangelstein II enger als in den A-Horizonten dieser Profile (Tab. 12). In den Profilen Daubringen und Ilbenstadt ist dies auf eine schwache Podsolierung bzw. Tondurchschlammung zurückzuführen. Im allgemeinen sind die Molekularverhältnisse in den tonreicheren Horizonten enger als in den tonärmeren. Da die Gesamt-oxide neben den freien Oxiden auch silikatisch gebundene Oxide enthalten und die Tonminerale mehr Sesquioxide enthalten als der Quarzsand, sind die engen Verhältnisse in den tonreicheren Horizonten erklärlich.

5.2. Die freien Oxide

Durch die chemische Verwitterung primär-silikatischer Minerale werden u.a. Fe-, Al- und Si-Oxide und Hydroxide freigesetzt. Die nicht zur Neubildung von Tonmineralen verbrauchten Oxide sind zunächst meist amorph. Sie liegen als kolloidal gelöste Hydroxide vor und werden durch Ausflokung in ein Gel überführt. Die Hydroxidgele unterliegen im Laufe der Zeit der Alterung, die zu kristallinen Formen führt. Die amorphen Oxide und Hydroxide sind für die Bodenbildung und Bodensystematik von größter Bedeutung.

Die aus der Bodenlösung ausgeschiedene Kieselsäure bildet bei der Alterung zunächst ein wasserhaltiges Gel (Opal). Bei weiterer Durchkristallisierung des Opals entsteht der Quarzit. Die Alterung des Aluminiumhydroxidgels führt zum Hydrargillit. In den tropischen Böden treten auch Böhmit und Diaspor auf. Die stark wasserhaltigen Fe-hydroxidgele kristallisieren im gemäßigten Klima meist zu braunem Goethit; im tropischen Klima bildet sich der rot gefärbte Hämatit. Das kristalline Eisen tritt auch in Form von Lepidokrokit und Maghemit auf.

5.2.1. Freie Eisenoxide (Fe_d)

Bei der Verwitterung primärer Silikate werden Fe^{2+} und Fe^{3+} aus Biotit, Olivin u.a. freigesetzt. Diese werden zum Teil im Zuge der Tonbildung in den Gittern sekundärer silikatischer Minerale eingebaut bzw. in die verschiedenen Formen des freien Bodeneisens überführt. PREUSSE (1969) hat diese Formen wie folgt unterteilt.

1. Freies kristallines Eisen (Fe_dFe_o)
2. Amorphes Eisen (Fe_o)
 - a) Eisen organischer Verbindungen
 - b) Eisen anorganischer Verbindungen
 - c) Sorb. Eisen
 - d) Fe-Ionen der Bodenlösung

Eisen organischer Verbindungen bilden Komplexverbindungen mit

- 1) Nichthuminstoffen
 - 2) Huminstoffen
 - a) Fe-Huminsäure
 - b) Fulvosäure
- } Komplexe

Das im Verlaufe der Verwitterung freigesetzte und nicht in Silikaten gebundene Eisen wird am Ort der Verwitterung angereichert oder es unterliegt vor der Ausscheidung erst einer Verlagerung. DEB (1949) bzw. HALLSWORTH, COSTIN und GIBSON (1953) haben die Formen, in denen das Eisen verlagierungsfähig ist, wie folgt zusammengefaßt: Als zwei- bzw. dreiwertiges Kation, als positiv geladene Eisenoxidsole oder als negativ geladene silicium- bzw. humusgeschützte Eisenoxidsole. Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) steigt die Löslichkeit der Fe(III) -Oxide im pH-Bereich unter 8 mit sinkendem pH-Wert. DEB (1949) ist der Meinung, daß die Mobilität des Fe(III) auf sehr niedrige pH-Werte begrenzt und über pH 3,5 sehr gering ist. Darüber hinaus kann Eisen und Aluminium in kolloidaler Form als amorphes

Gel oder in Oxidform Tonminerale umhüllen und mit diesen verlagert werden (FIELDS und WILLIAMSON, 1955).

Mit Hilfe des oxalat- und dithionitlöslichen Eisens grenzen McKEAGUE und DAY (1966) die B- von den B_s -Horizonten ab. Nach diesen Autoren liegt eine Sesquioxidanreicherung im B-Horizont (B_s) vor, wenn das oxalatlösliche Fe + Al des B-Horizontes um 0,8 % bzw. die dithionitlöslichen Sesquioxide um 1 % höher sind als die jeweiligen Gehalte im C-Horizont. Die Tiefenfunktionen der nichtsilikatischen Sesquioxide gestatten somit Aussagen über Transformations- und Translokalisationsprozesse.

Auf die Bildung und Eigenschaften metallorganischer Komplexe sowie ihre Bedeutung für die Pedogenese wird in Kapitel 6 näher eingegangen.

Der Gehalt an gesamt-freiem Eisenoxid (Fe_d) liegt in allen Bodenprofilen zwischen 0,03 und 1,40 % (Tab. 10). In den Profilen Daubringen und Hangelstein II nimmt das freie Eisenoxid vom A_{he} - bzw. A_h -Horizont zum B_{sv} - bzw. B_{v2} -Horizont zu (Abb. 11). Das Profil Am Gießener Stadtwald weist eine vergleichbare Tiefenfunktion auf (B_{v2} - A_h). Diese Anreicherung in den B-Horizonten kann durch Verlagerung verursacht worden sein. Normalerweise nimmt bei der Bodenbildung auf homogenem Ausgangsmaterial ohne Eisenverlagerung das freie Eisen mit der Tiefe ab, da die Verwitterungsintensität ebenfalls mit der Tiefe geringer wird. In den Profilen Gröbner und Hangelstein I liegt der Gehalt an freiem Eisenoxid sehr niedrig (zwischen 0,03 und 0,50 %). Im erstgenannten Profil nimmt der Gehalt vom A_h - bis zum B_s -Horizont nur geringfügig von 0,21 - 0,26 % zu, danach wieder ab. In diesem Profil besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Farbe und Gehalt an freiem Eisenoxid. Die Bodenfärbung wird, vor allem von fein verteilten Eisenoxiden geprägt, wobei besonders der intensiv rot gefärbte Hämatit

Abb. 11:

Verteilung von freiem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 und Ton

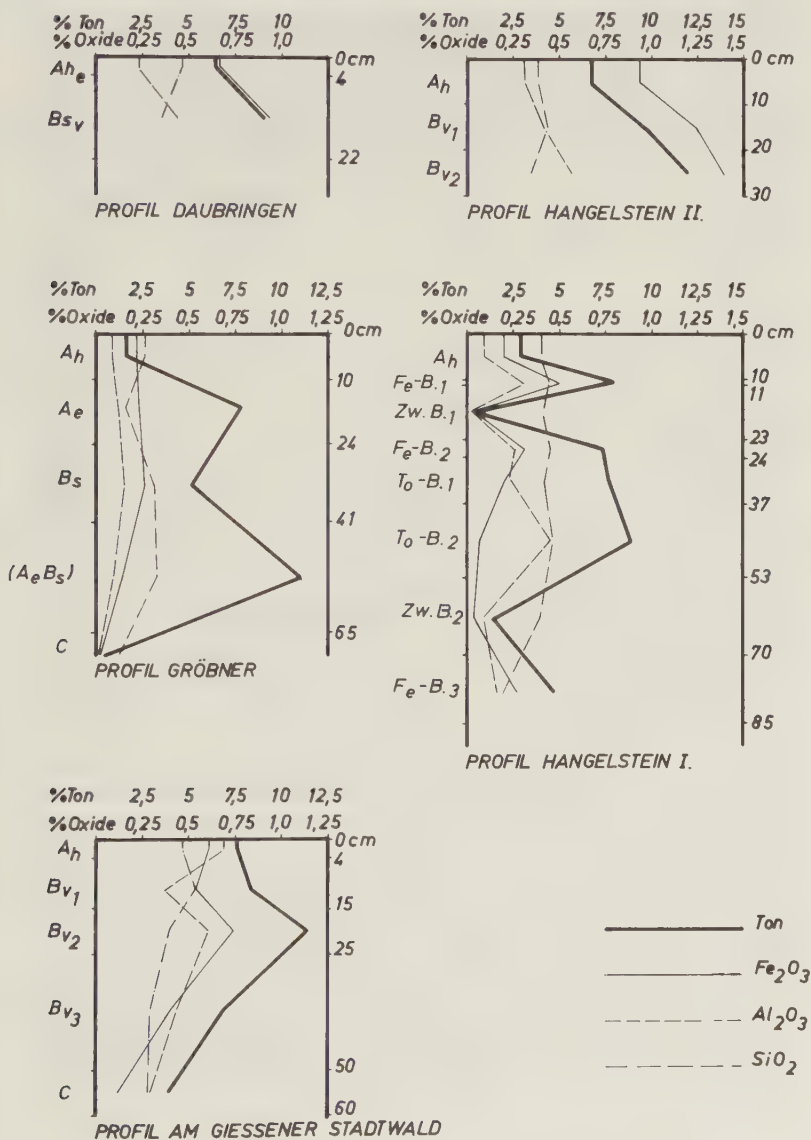
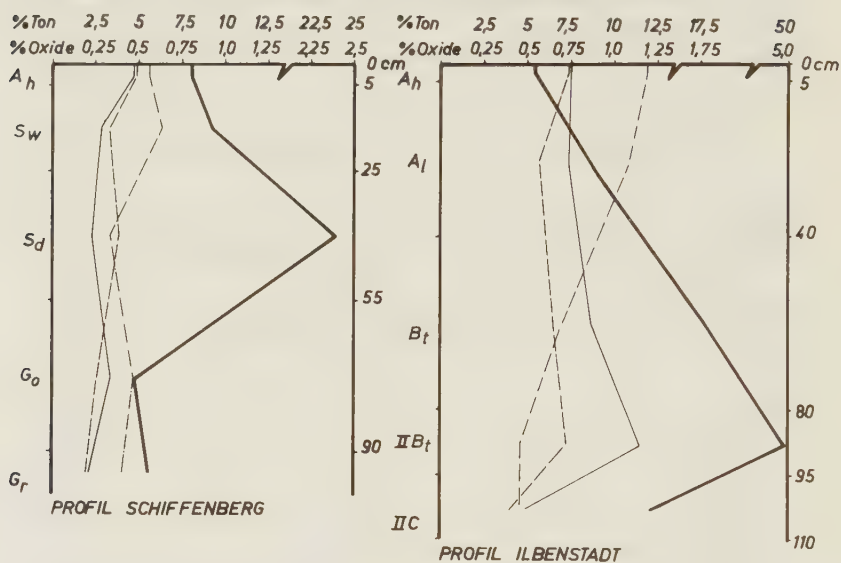


Abb. 11 (Forts.):

Verteilung von freiem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 und Ton



schon bei geringen Gehalten eindeutig hervortritt; die Farbwerte der Oxidhydrate und der amorphen Fe-Gele des Bodens sind dagegen vergleichbar und durch braune Farbtöne charakterisiert (SCHWERTMANN et al., 1966). Rezente Fe-Anreicherungshorizonte und auch Tonanreicherungshorizonte sind somit durch gelbe Farbtöne (10 YR 8/6 - 10 YR 7/8) gekennzeichnet, sofern dieser Farbton nicht durch organische Substanzen überdeckt wird, während die dazwischenliegenden Horizonte weiße Farbtöne besitzen (10 YR 8/2).

Bei dem Profil Hangelstein I ist ein klarer Zusammenhang zwischen Tongehalt, Gehalt an Gesamteisen, Farbe des Substrates und freiem Eisenoxid offensichtlich. Erwartungsgemäß findet man den höchsten Gehalt an freiem Eisen in dem Eisenband¹ unter dem A_h -Horizont, bedingt sowohl durch fossile Eisenanreicherung als auch durch rezente Eisenverlagerung aus dem A_h -Horizont. Der Grund für diese Vermutung ist die bräunliche Färbung des Eisenbandes¹ (10 YR 7/4 - 6/6), während der unterste Band rötlich gefärbt ist (7.5 YR 6/6). Auffallend ist die diffuse Abnahme unterhalb des Eisenbandes 2. Sie verläuft proportional zum Gesamteisen und umgekehrt proportional zum Ton. Vermutlich hat eine Verlagerung aus dem Eisenband stattgefunden.

Im Profil Schiffenberg nimmt das freie Eisen vom A_h - bis zum S_d -Horizont von 0,48 bis 0,24 % stetig ab. Im Bereich der Grundwasserhorizonte enthält der G_o mit 0,34 % einen höheren Wert als der G_r mit 0,22 %. Der Grund hierfür ist in den reduktiven Bedingungen des G_r -Horizontes zu suchen, indem Fe(II) aus diesem mit Kapillarwasser aufsteigt und im Kapillarwassersaum unter oxidativen Bedingungen immobilisiert wird. Ansteigender Grundwasserspiegel übt den gleichen Effekt einer Fe-Anreicherung im G_o -Horizont aus (HALLSWORTH und COSTIN, 1953). BLÜMEL (1962) hat dasselbe beobachtet. Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) wird

Eisenoxid in G_0 -Horizonten angereichert.

Im Profil Ilbenstadt (Parabraunerde) nimmt der Gehalt an freiem Eisenoxid zunächst vom A_h - zum A_1 -Horizont schwach ab, erreicht im II B_t -Horizont mit 1,14 % sein Maximum und sinkt im II C-Horizont wieder ab. Diese Tiefenfunktion des freien Eisens in Parabraunerden wird von zahlreichen Autoren beschrieben (u.a. SCHLICHTING und BLUME, 1962; van SCHUYLENBORGH, 1966; McKEAGUE und DAY, 1966 und SATTAR, 1967).

Wie aus Abbildung 11 hervorgeht, verlaufen die Tiefenfunktionen Ton und freies Eisen in den Profilen Daubringen, Am Gießener Stadtwald, Ilbenstadt, Hangelstein I und II in etwa parallel. Statistisch gesichert sind die Beziehungen beider Größen in den Profilen Ilbenstadt, Am Gießener Stadtwald und Hangelstein II (Tab. 13). Wie jedoch schon ausgeführt, kann eine intensivere Verwitterung in tieferen Horizonten und somit stärkerer Tonbildung unter Eisenfreisetzung in den zuletzt angeführten, als Braunerden geringer Basensättigung angesprochenen Profile, nicht ausgeschlossen werden. In den übrigen Profilen mit Fe-Anreicherungs-horizonten erfolgte die Anreicherung somit durch andere Prozesse bzw. diese ist sedimentär bedingt.

Tabelle 13: Beziehungen zwischen Tongehalt (x) und dem Gehalt an freiem Eisenoxid (Fe_d) (y)

Profil	n	r	P
Am Gießener Stadtwald	5	+ 0,9485	1
Hangelstein II	3	+ 0,9947	1
Ilbenstadt	5	+ 0,8227	5

Tabelle 14: Kristallines und amorphes Eisenoxid und Aktivitätsgrade

Horizont	Tiefe cm	% freies Eisen		in % der freien Oxide		Aktivitätsgrad
		kristallin	amorph	kristallin	amorph	
PROFIL DAUBERJINGEN						
A _{he}	0 - 4	0,208	0,462	31,0	69,0	0,69
B _{av}	4 - 22	0,577	0,363	61,3	38,7	0,39
PROFIL GROBNER						
A _h	0 - 10	0,156	0,054	74,3	25,7	0,26
A _e	10 - 24	0,196	0,034	85,2	14,8	0,15
B _s	24 - 41	0,205	0,055	78,9	21,1	0,21
(A _e B _s) ^x	41 - 65	0,120	0,010	92,3	7,7	0,08
C	65 +	0,026	0,004	86,6	13,4	0,13
PROFIL HANGELSTEIN I						
O _{fh}	1	0,242	0,144	62,7	37,3	0,37
A _h	0 - 10	0,138	0,062	69,0	31,0	0,31
Eisenband 1	10 - 11	0,347	0,153	69,4	30,6	0,31
Zwischenband 1	11 - 23	0,028	0,012	70,0	30,0	0,30
Eisenband 2	23 - 27	0,273	0,041	88,1	11,9	0,12
Tonband 1	27 - 37	0,191	0,019	90,0	10,0	0,10
Tonband 2	37 - 53	0,062	0,010	86,1	13,2	0,14
Zwischenband 2	53 - 70	0,023	0,007	76,6	23,4	0,23
Eisenband 3	70 - 85	0,235	0,025	90,0	10,0	0,10
PROFIL AM GIESSENER STADTWALD						
O _{fh}	1	0,289	0,405	41,7	58,3	0,58
A _h	0 - 4	0,217	0,393	35,6	64,4	0,64
E _{v1}	4 - 15	0,211	0,332	38,9	61,1	0,61
E _{v2}	15 - 25	0,328	0,415	44,1	55,9	0,56
E _{v3}	25 - 50	0,191	0,223	46,1	53,9	0,54
C	50 - 60+	0,060	0,060	50,0	50,0	0,50
PROFIL SCHIFFENBERG						
A _h	0 - 5	0,268	0,212	55,8	44,2	0,44
S _w	5 - 25	0,121	0,169	41,7	58,3	0,58
S _d	25 - 55	0,153	0,087	63,8	36,3	0,36
G _o	55 - 90	0,281	0,059	82,7	17,3	0,17
G _r	90 +	0,179	0,041	81,3	18,7	0,19
PROFIL ILBENSTADT						
A _h	0 - 4	0,415	0,335	55,3	44,7	0,45
A _l	4 - 40	0,397	0,333	54,4	45,6	0,46
B _t	40 - 80	0,589	0,271	68,5	31,5	0,32
IIB _t	80 - 95	0,988	0,152	86,6	13,4	0,13
IIC	95 +	0,366	0,152	74,6	25,4	0,25
PROFIL HANGELSTEIN II						
A _h	0 - 10	0,557	0,383	59,2	40,8	0,41
B _{v1}	10 - 20	0,908	0,336	73,2	26,8	0,27
B _{v2}	20 - 30	1,082	0,319	77,3	22,7	0,23

5.2.1.1. Kristalline freie Eisenoxide

Unter kristallinem Eisenoxid versteht man nach SCHWERTMANN (1959) dithionitlösliches minus oxalatlösliches Eisen. Diese Fraktion beinhaltet somit definierte Eisenoxide und Oxidhydrate, insbesondere Hämatit, Goethit und Lepidokrokit.

Nach SCHWERTMANN (1964) nimmt der Kristallisationsgrad eine Vorrangstellung unter den Faktoren ein, die die Oxalatlöslichkeit der Fe-Oxide bestimmt, da die kristallisierten Oxide vornehmlich Alterungsprodukte amorpher Vorstufe darstellen. Die Kristallgröße sowie die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung spielen weiterhin eine Rolle bei der Oxalatlöslichkeit der Fe-Oxide (PREUSSE, 1969). Der Kristallisationsgrad wird nach SCHWERTMANN (1964) durch die Alterungsdauer und die Alterungsbedingungen bestimmt. Die organische Substanz (SCHWERTMANN, 1966; JUNG und N METH, 1969), dauernde und starke Durchfeuchtung (KURON, PREUSSE und FÖHRENBACH, 1961 u.a.) sowie niedrige pH-Werte (SCHWERTMANN, 1959; SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN, 1964, 1967) üben eine negative Wirkung auf die Kristallisation der Eisenoxide aus.

Der Anteil des kristallinen Eisens am freien Eisen ist mit Ausnahme des Profils Am Gießener Stadtwald und abgesehen von wenigen Ausnahmen in den übrigen Profilen höher als der des amorphen Fe_2O_3 (oxalatlösliches Eisen); er beläuft sich in diesen Profilen auf 42 - 92 % des gesamten freien Eisens. Im Profil Am Gießener Stadtwald, sowie in dem A_{he} - bzw. S_w -Horizont der Profile Daubringen und Schifftenberg überwiegt dagegen das amorphe Fe_2O_3 (Tab. 14). Der Anteil des kristallinen freien Eisens an den gesamten freien Eisenoxiden schwankt hier zwischen 31 und 50 %. Wiederum von wenigen Ausnahmen abgesehen, nimmt der relative Gehalt mit zunehmender Tiefe zu, da sowohl die organische Substanz als auch die Verwitterungsintensität in dieser Richtung abnehmen.

Abb.12: Verteilung von amorphem, kristallinem Fe_2O_3 und Ton

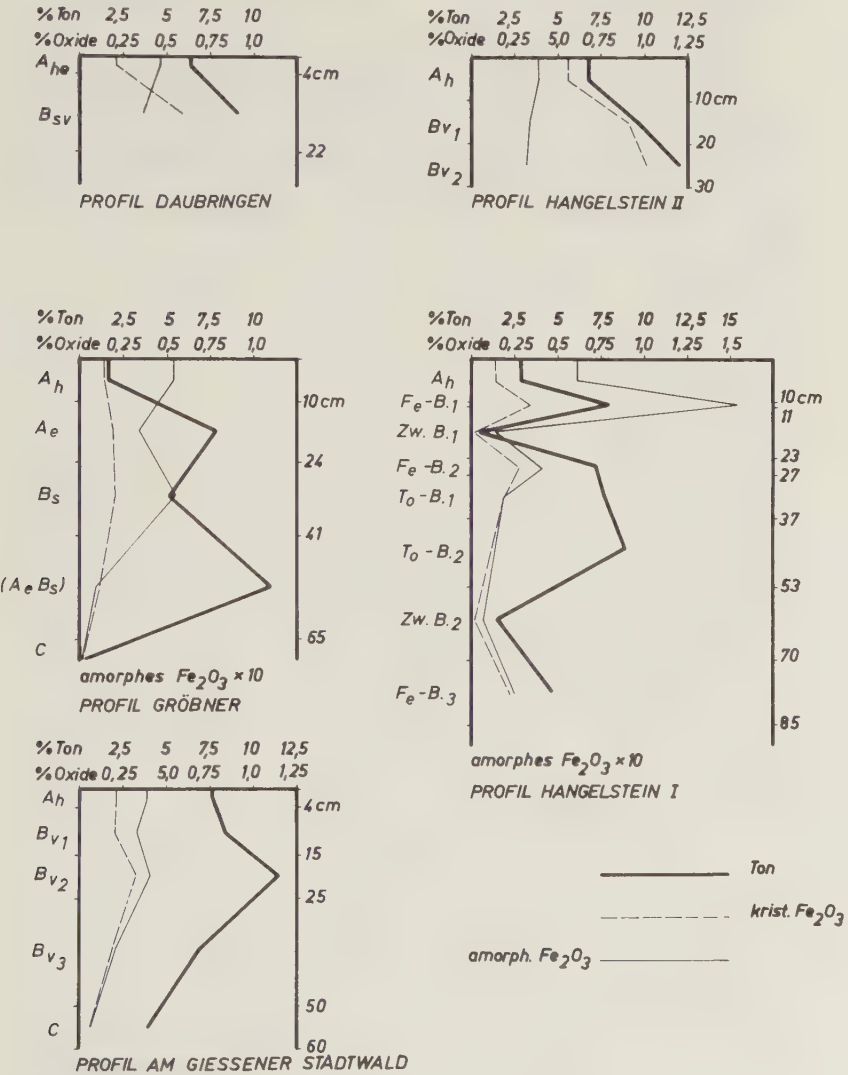
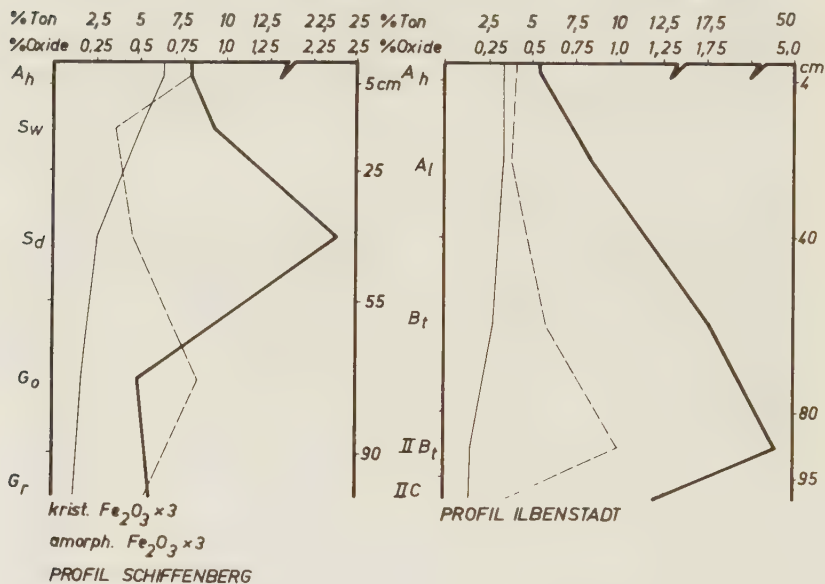


Abb. 12 (Forts.):

Verteilung von amorphem, kristallinem Fe_2O_3 und Ton



Mit Zunahme der Verwitterungsintensität kann jedoch auch der Anteil an kristallinem freiem Eisen zunehmen, wenn keine kristallisationshemmenden Faktoren (org. Substanz, Vernässung) vorhanden sind und wenn durch wechselnde Anfeuchtung und Austrocknung die Kristallisation gefördert wird. Daneben ist allerdings in Sedimenten auch die Umverteilung von kristallinem zu amorphem Eisen unter dem Einfluß der Verwitterungsfaktoren möglich. (Über den Einfluß der organischen Substanz auf den Kristallisationsgrad wird bei der Besprechung des amorphen Eisens näher eingegangen.)

Mit Ausnahme des S_w -Horizontes des Profils Schiffenberg nimmt mit Zunahme des Fe_d auch der kristalline Anteil dieser Fraktion zu (Tab. 14). Aus Tabelle 15 bzw. Abbildung 12 ist zu ersehen, daß auch das freie kristalline Eisen in den Profilen Daubringen, Am Gießener Stadtwald, Ilbenstadt und Hangelstein II mit dem Tongehalt korreliert, wie es bei dem gesamtfreien Eisen der Fall war. Bemerkenswert ist dabei vor allem die in den Profilen Am Gießener Stadtwald und Ilbenstadt engere Beziehung Ton zu kristallinem freiem Eisen (Tab. 13 und Tab. 15); somit dürften bei der Lessivierung bevorzugt kristalline Verbindungen zusammen mit dem Ton verlagert worden bzw. das bei der Tonbildung freigesetzte Eisen relativ schnell aus dem amorphen in den kristallinen Zustand übergegangen sein. In den Profilen Gröbner, Hangelstein I und Schiffenberg sind diese Beziehungen nicht gesichert. Die Tiefenfunktion der absoluten Werte ist mit der des gesamten freien Eisens vergleichbar.

Tabelle 15: Beziehungen zwischen dem Tongehalt (x) und dem Gehalt an kristallinem Eisenoxid (y)

Profil	n	r	P
Am Gießener Stadtwald	5	+ 0,9877	1
Hangelstein II	3	+ 0,9927	1
Ilbenstadt	5	+ 0,9745	1

5.2.1.2. Amorphe Eisenoxide

Das amorphe Eisenoxid umfaßt die in saurem Ammoniumoxalat löslichen Eisenverbindungen (SCHWERTMANN, 1959). Es enthält neben organischen Eisenverbindungen auch organisch gebundenes Eisen. Wegen seiner durch die hohe Oberflächenaktivität bedingte Mobilität und Reaktionsfähigkeit gestattet es Aussagen höherer Sicherung hinsichtlich pedogener Prozesse als das gesamte freie Eisenoxid.

Die absoluten Gehalte an amorphen Eisen bewegen sich in relativ weiten Grenzen (0,004 bis 0,462 %) (Tab. 14); sie sind in den quarzsandreichen Substraten (Profil Gröbner und Hangelstein I, jedoch nicht Profil Am Gießener Stadtwald) sowie in dem Profil Schiffenberg (Gail'sche Schichtserie) mit nur wenigen Ausnahmen, auf die noch näher eingegangen werden soll, gering (niedriger als 0,1 %), während die Bodenbildungen auf Quarzit (Profil Daubringen), auf Lahnschotter (Profil Hangelstein II) sowie auf Löss (Profil Ilbenstadt) höhere Werte aufweisen (Tab. 14; Abb. 12). SCHLICHTING und BLUME (1962) haben die Verteilung des dithionitlöslichen und des oxalatlöslichen Eisens zur Differenzierung der pedogenen Prozesse Verbraunung, Lessivierung und Podsolierung herangezogen. Mit Hilfe des gesamten freien Bodeneisens kann die Verbraunung von der Lessivierung und Podsolierung unterschieden werden, indem erstgenannter Prozeß eine Abnahme des Fe_d -Gehaltes in Richtung des Ausgangsgesteines, die Lessivierung und Podsolierung dagegen eine Zunahme im B_t - bzw. B_g -Horizont nach sich zieht. Lessivierung und Podsolierung sind allein durch das amorphe Eisen zu differenzieren (Lessivierung: Abnahme mit zunehmender Tiefe; Podsolierung: Maximum im B_g -Horizont). Diese auf Grund der Untersuchung von Bodenbildungen auf jungpleistozänen Geschiebemergel Norddeutschlands gefundenen Beziehungen wurden in der Folgezeit von verschiedenen Autoren bestätigt (u.a. SCHWERTMANN, 1966; SATTAR, 1967). Die Anreicherung

des amorphen Eisens ist der Bindung des Eisens an der organischen Substanz zuzuschreiben, wodurch die Kristallisation verhindert oder zumindest verzögert wird, wie SCHWERTMANN (1966) experimentell nachweisen konnte.

In den Profilen Daubringen, Schiffenberg, Ilbenstadt und Hangelstein II nehmen die Fe_0 -Gehalte mit der Tiefe ab. Die gegenläufige Tiefenfunktion des gesamten freien Bodeneisens in den Profilen Daubringen, Ilbenstadt und Hangelstein II deutet somit auf eine Verlagerung im Sinne der Lessivierung hin. Diese kann für das Profil Ilbenstadt mit Sicherheit angenommen werden. Die Profile Daubringen und Hangelstein II weisen auch eine schwache zunehmende Tiefenfunktion des Tones auf.

Die von den oben angeführten Profilen abweichende Tiefenfunktion in den Profilen Gröbner, Hangelstein I und Am Giesener Stadtwald deutet auf die lösungsschemische Eisenverlagerung hin, wobei in den beiden letztgenannten Profilen Fe in Form metallorganischer Verbindungen aus den O-Horizonten in den Mineralboden eingewaschen sein dürfte, abgesehen davon, daß metallfreie organische Verbindungen dieser Horizonte Eisen in den oberflächennahen Mineralbodenhorizonten lösen und in tiefere Horizonte transportieren. Morphologisch ist die Podsolierung eindeutig in dem Profil Gröbner zu erkennen, nicht dagegen in dem Profil Am Giesener Stadtwald. Da infolge der guten Durchlässigkeit des sandigen Substrates die oberflächennahen Horizonte stärker austrocknen als die tieferen Horizonte - bei den Profilaufnahmen zu verschiedenen Jahreszeiten waren der $\text{B}_{\text{V}2}$ - und $\text{B}_{\text{V}3}$ -Horizont stets feuchter als die darüberliegenden Horizonte - kann auch, worauf an anderer Stelle schon hingewiesen wurde, in den feuchteren Horizonten die Verwitterung intensiver sein. Die intensive Durchwurzlung mit überwiegend sehr feinen Wurzeln fördert hierbei sowohl die Verwitterung und könnte darüber hinaus die Kristallisation des freigesetzten Eisens

hemmen. Vermutlich sind beide Prozesse für die Verteilung des amorphen Eisens in diesem Profil verantwortlich. Die Beteiligung saurer Huminstoffe an der Eisenverlagerung in dem Profil Hangelstein I ist schon auf Grund der morphologisch sichtbaren Huminstoffeinwaschungen aus dem O-Horizont in den Mineralboden zu vermuten. Die eindeutigen Farbunterschiede zwischen dem dünnen, relativ festen Eisenband unter dem A_h -Horizont in 10 bis 11 cm Tiefe (sehr fahlbraun bis bräunlich gelb 10 YR 7/4 - 6/6) und dem Band in 70 bis 85 cm Tiefe (rötlich gelb 7.5 YR 6/6) ist ein Indiz für den pedogenetischen Ursprung bzw. die pedogenetische Überprägung des sedimentären Eisenbandes unter dem A_h -Horizont. Die Tiefenfunktion des amorphen Eisens unterstützen diese Vermutung; in dem oberen Band ist amorphes Eisen angereichert (Maximum). Die Fe_o -Gehalte der beiden tiefer gelegenen Eisenbänder ist bedeutend niedriger als der des oberen Bandes, jedoch höher als der der Ton- bzw. Zwischenbänder. Aus dieser Verteilung ist abzuleiten, daß mobiles Eisen über das erste Eisenband hinaus in tiefere Schichten verlagert wurde, wobei nichtgefärbte organische Substanzen als Komplexbildner fungiert haben müssen. Daneben ist aber eine Umverteilung sedimentär abgelagerten Eisens durch Lösungs- und Komplexierungsreaktionen organischer Substanzen nicht ausgeschlossen.

Abschließend sei noch auf den Bodentyp Pseudogley - Gley (Profil Schiffenberg) verwiesen. Die Bodenvernässung äußert sich allgemein in höheren Gehalten an amorphem Eisen (u.a. WIECHMANN, 1968). Zwar ist das Eisen in dem geringmächtigen humosen A-Horizont angereichert, der Gehalt des S_w -Horizontes ist jedoch mit 0,17 %, gemessen an den tieferen Horizonten, noch relativ hoch. Ob dieser Wert allein auf die Kristallisationshemmung infolge der Vernässung oder zusätzlich noch auf den Einfluß der organischen Substanzen zurückzuführen ist, kann nicht entschieden werden. Letztgenannter Einfluß kann bei der Vegetation des Standortes (Kiefer und Fichte) nicht ausgeschlossen werden.

Im Gegensatz zu dem gesamten freien bzw. kristallinen freien Eisen besteht in den Profilen Daubringen, Gröbner, Schiffenberg, Ilbenstadt und Hangelstein II keine Beziehung zwischen den Gehalten an Ton und amorphem Eisen (Abb. 12). Auch SCHLICHTING und BLUME (1962) konnten in Parabraunerden diese nicht nachweisen. Sie führen dies darauf zurück, daß in den jüngsten Stadien der Bodenentwicklung die Oxidbildung bei langsamer Kristallisation im Oberboden intensiver als die Lessivierung abläuft und/oder Humusstoffe eine Kristallisation in den A_h -Horizonten verhindern bzw. verzögern. In den vorliegenden Profilen dürfte, abgesehen von dem Profil Ilbenstadt (Parabraunerde), der Einfluß der organischen Substanz dominierend sein.

5.2.1.3. Der Aktivitätsgrad

Unter Aktivitätsgrad versteht SCHWERTMANN (1964) das Verhältnis von oxalatlöslichem (amorphem) zu dithionitlöslichem (amorphem + kristallinem) Eisenoxid (Aktivitätsgrad = $Fe_o : Fe_d$). Sowohl in Braunerden als auch in Parabraunerden nimmt der Aktivitätsgrad mit zunehmender Tiefe ab (Mc KEAGUE und DAY, 1966). Bei den podsoliierten Böden weisen die B_h' bzw. B_s -Horizonte hohe Aktivitätsgrade auf (SCHWERTMANN, 1958; HEINEMANN, 1964; Mc KEAGUE et al., 1966). In den pseudovergleyten Böden bzw. Horizonten ist er höher als in nicht pseudovergleyten (STRAUTZ, 1962, sowie SCHLICHTING und BLUME, 1962) und in sauren Braunerden höher als in neutralen. Nach Mc KEAGUE et al. (1966) liegt er in den oberen Horizonten saurer Braunerden über 0,5, in den neutralen Braunerden im gesamten Solum unter 0,33.

Abgesehen von dem S_w - bzw. A_1 -Horizont der Profile Schiffenberg und Ilbenstadt weist der Aktivitätsgrad in den humosen Oberböden die höchsten Werte auf. Diese Erscheinung ist auf die kristallisationshemmende Wirkung der organischen Substanz

bzw. auf die Bindung des Eisens an organischen Substanzen zurückzuführen. Die niedrigen Werte in den Profilen Gröbner und Hangelstein I sind lithogen bedingt. In tertiären Sanden treten die Eisenoxide vorwiegend in hochkristallisierter Form auf. KOHL und SCHILLER (1963) ermittelten in inter- oder präglazialen Bodenbildungen aus tertiärem Schotter besonders geringe Aktivitätsgrade.

Mit Ausnahme der Profile Gröbner und Hangelstein I nimmt der Aktivitätsgrad mit der Tiefe ab; diese Tiefenfunktion resultiert aus der Abnahme des amorphen Eisenoxids in gleicher Richtung, abgesehen vom B_{v2} -Horizont des Profils Am Gießener Stadtwald. Die schon vermutete lösungsschemische Verlagerung in den Profilen Gröbner und Hangelstein I geht auch aus der Tiefenfunktion der Aktivitätsgrade hervor. Sie weisen in dem B_s -Horizont bzw. in dem Eisenband 1 höhere Werte auf, da in diesen Horizonten eine Anreicherung von amorphem Eisen auftritt. Dagegen nimmt im B_{v2} -Horizont des Profils Am Gießener Stadtwald trotz absoluter Zunahme des amorphen Eisens der Aktivitätsgrad nicht zu; die Zunahme des kristallinen freien Eisens ist ausgeprägter. Diese Erscheinung ist auch in dem Profil Hangelstein I zu beobachten; die Zunahme des amorphen Eisens beim Übergang von dem Zwischenband 1 zum darunter liegenden Eisenband in 23 bzw. 70 cm Tiefe ist von einer Abnahme des Aktivitätsgrades infolge starker Zunahme des kristallinen Eisens begleitet und der in dem A_h -Horizont und dem Eisenband 1 gleiche Aktivitätsgrad resultiert aus der relativ stärkeren Zunahme des kristallinen Eisens. Die geringen Gehalte an Fe_0 bzw. die geringen Aktivitätsgrade in den tieferen Horizonten der Profile Gröbner und Hangelstein I sind in erster Linie lithogen bedingt, worauf an anderer Stelle schon hingewiesen wurde; die Fe-Oxide wurden bereits in kristallisierter Form, wahrscheinlich als Hämatit (rote Färbung des untersten Fe-Bandes im Profil Hangelstein I), sedimentiert bzw. haben sich unter den z.Zt. der Sedimentation herrschenden Klimabedingun-

gen (feucht-warm) gebildet. Ähnliche Verhältnisse treffen wohl auch für Ilbenstadt II B_t und II C und vor allem für Schiffenberg G₀ und G_r zu.

Der unter reduktiven Bedingungen geringe Aktivitätsgrad muß als Hinweis auf den hohen Oxidationsgrad der im Sediment abgelagerten Fe-Oxide gewertet werden. Unter der Voraussetzung, daß die Fe-Oxide des S_w-Horizontes ursprünglich ebenfalls hochoxidiert waren, ist der hohe Anteil des amorphen Eisens an dem gesamten freien Eisen allein auf Grund der Pseudovergleyung nicht zu erklären. Vermutlich fördern in diesem Horizont eingewaschene organische Verbindungen die Transformation oxidischer Eisenverbindungen in oxalatlösliche, sofern dieser Prozess nicht von der Einwaschung Fe-organischer Verbindungen bzw. von der Eisensfreisetzung aus silikatischen Mineralen und deren durch das Stauwasser gehemmten Kristallisation überprägt wird. Letzteren Prozess konnten KURON et al. (1961) in einem Modellversuch nachweisen.

5.2.1.4. Eisen, löslich in 0,05 n Schwefelsäure

Das in 0,05 n H₂SO₄ lösliche Eisen ist vor allem eine Form des amorphen Eisens. Es umfaßt neben dem an mobilen Nicht-huminstoffen und Fulvosäuren gebundenen Eisen auch einen Teil des Eisens amorpher organischer Verbindungen (OLSON, 1947, sowie SCHNITZER und WRIGHT, 1957).

Der Gehalt dieser Fraktion, ausgedrückt als Fe₂O₃, schwankt zwischen 4,6 und 60,1 mg/100 g Boden (Tab. 16). Die Differenzen zwischen Minima und Maxima sind in den Profilen Daubringen und Hangelstein II sehr gering, in den anderen Profilen dagegen beträchtlicher, besonders in den Profilen Gröbner und Hangelstein I. Abgesehen von dem Eisenband des Profils Hangelstein I und dem B_{v1}-Horizont des Profils Am Gießener Stadtwald wurden in den O-Horizonten die höch-

sten Werte gemessen. In den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt nehmen die Gehalte an säurelöslichem Eisenoxid mit zunehmender Tiefe ab. Eine Anreicherung erfolgt dagegen in dem B_s -Horizont des Profils Gröbner, dem B_{v1} -Horizont des Profils Am Gießener Stadtwald sowie im Eisenband des Profils Hangelstein I.

Der Anteil des säurelöslichen Eisenoxids in % vom Gesamteisen bzw. gesamten freien Eisenoxid ist sehr gering. Er schwankt zwischen 1,7 und 39 % des Gesamteisens bzw. 8,5 und 120 % des gesamten freien Eisens. Der Anteil vom gesamten freien Eisen nimmt in den Profilen Daubringen, Schiffenberg, Ilbenstadt und Hangelstein II mit der Tiefe ab, da der Gehalt am gesamten freien Eisen in dieser Richtung zunimmt und gleichzeitig der des säurelöslichen Eisens in den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt in dieser Richtung abnimmt. In dem B_s -Horizont des Profils Gröbner und in dem Eisenband 1 des Profils Hangelstein I sowie in den B_{v1} - bzw. S_w -Horizonten der Profile Am Gießener Stadtwald und Schiffenberg sind die relativen Werte höher als in den anderen Horizonten der genannten Profile, da in diesen Horizonten eine Anreicherung säurelöslichen Eisens erkennbar ist.

Da das in 0,05 n H_2SO_4 lösliche Eisen ein Teil des amorphen Eisens ist, sind die Verhältnisse zueinander für die Beurteilung der Eisenlöslichkeit und -beweglichkeit hinsichtlich der Deutung pedogener Prozesse von größter Bedeutung.

Die Lösungsquote des amorphen Eisens schwankt in weiten Grenzen (6 bis 39 %) (Tab. 16). Die niedrigsten relativen Werte liegen in den Profilen Daubringen und Hangelstein II mit 6 - 8 %, die höchsten in den Profilen Gröbner und Hangelstein I (13 - 39 %). In diesen Profilen nehmen die relativen Werte mit der Tiefe zu. Sie sind in dem B_s -Horizont des Profils Gröbner und in dem Fe-Band 1 des Profils Hangelstein I am höchsten, was auf eine Anreicherung dieser Eisen-

Tabelle 16: 0,05 n H₂SO₄ lösliches Eisen

Horizont	mg Fe ₂ O ₃ /	in o/oo			mg Fe ₂ O ₃ /
	100 g Boden	Fe ₂ O _{3t}	Fe ₂ O _{3d}	Fe ₂ O ₃₀	100 mg C
PROFIL DAUBRINGEN					
O	31,6	-	-	-	-
A _{he}	28,3	24,4	42,2	61,3	9,5
B _{sw}	29,2	19,7	31,1	80,4	20,0
PROFIL GRÖBNER					
A _h	7,4	15,4	35,2	137,0	5,9
A _e	4,6	8,7	20,0	135,3	24,1
B _s	20,0	37,0	77,0	363,6	204,1
PROFIL HANGELSTEIN I					
O _{fh}	28,6	-	-	-	-
A _h	17,2	24,2	86,0	277,4	26,7
Eisenband 1	60,1	12,8	120,2	392,8	225,9
PROFIL AM GIESSENER STADTWALD					
O _{fh}	51,2	-	-	-	-
A _h	25,2	15,3	52,5	118,8	17,5
S _w	25,7	22,7	88,6	152,1	21,8
S _d	13,7	5,2	57,1	157,5	26,5
G _o	10,3	5,2	30,3	174,4	79,2
G _r	6,3	5,1	28,7	153,6	71,5
PROFIL ILBENSTADT					
O _h	42,6	-	-	-	-
A _h	36,0	14,6	48,0	107,4	23,3
A _l	35,5	19,0	48,6	106,6	40,1
B _t	23,2	9,8	27,0	85,6	39,4
IIB _t	4,7	1,7	8,5	63,8	39,4
PROFIL HANGELSTEIN II					
A _h	25,7	7,4	27,3	67,1	21,8
B _{v1}	24,0	6,8	19,4	71,4	27,7
B _{v2}	25,2	5,4	18,0	79,0	34,1

Signaturen zu Abb. 13-23 :

- Profil Daubringen
- △ " Gröbner
- + " Hangelstein I
- " Hangelstein II
- " Schiffenberg
- ▲ " Jlsenstadt
- " Am Gießener Stadtwald

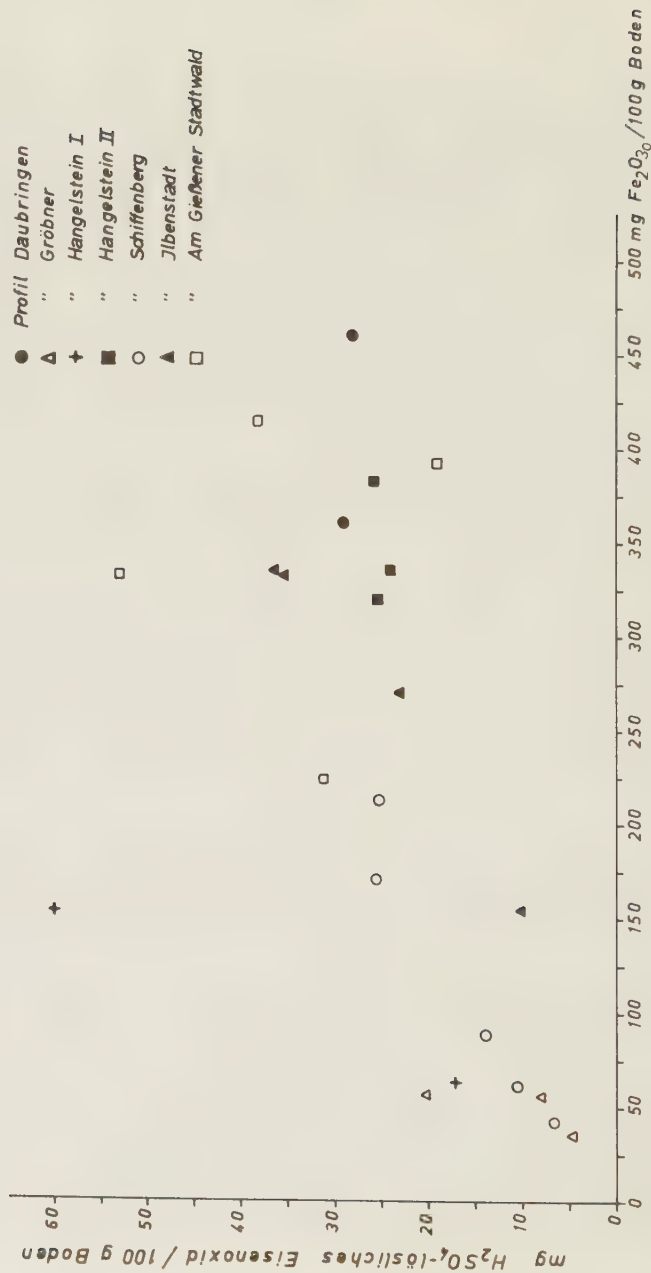


Abb.13: Amorphes und säurelösliches Eisenoxid

fraktion in den genannten Horizonten infolge lösungschemischer Verlagerung hindeutet. Die im Zusammenhang mit der Besprechung des Aktivitätsgrades gemachten Einschränkungen hinsichtlich der Alterung und der damit verbundenen Abnahme der Löslichkeit verlagerter und in diesem Zustand noch leichtlöslicher Fe-Verbindungen haben auch in dem vorliegenden Fall Gültigkeit. Die H_2SO_4 -lösliche Fe-Fraktion dürfte somit in noch höherem Maße die rezente Bildung und Verlagerung amorpher Eisenverbindungen charakterisieren als es bei der Fraktion des oxalatlöslichen Eisens der Fall ist. Weniger ausgeprägt ist die relative Zunahme in dieser Richtung in den Profilen Daubringen, Schiffenberg und Hangelstein II. Nur in dem Profil Ilbenstadt (Parabraun-erde) nehmen die prozentualen Anteile mit der Tiefe stetig ab; dies stimmt mit Ergebnissen von PREUSSE (1969) überein. Eine Anreicherung des säurelöslichen Eisens hat auch in den B_{V1} - und B_{V3} -Horizonten des Profils Am Gießener Stadtwald stattgefunden. Die Beziehungen zwischen amorphem und säurelöslichem Eisen sind nur in den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt bzw. bei der Verrechnung aller Horizonte innerhalb einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 % positiv gesichert (Tab. 17; Abb. 13). Da die in 0,05 n H_2SO_4 löslichen Fe-Verbindungen sehr labil sind, kann deren Anteil allein schon von dem Zeitpunkt der Probeentnahme und von den Trocknungs- und Lagerungsbedingungen beeinflusst werden, so daß die Analysenwerte u.U. nicht den natürlichen Gegebenheiten entsprechen.

Tabelle 17: Beziehungen zwischen amorphem Eisenoxid (Fe_o) (x) und 0,05 n H_2SO_4 -löslichem Eisenoxid (y)

Profil	r	n	P
Gesamt ^{*)}	+ 0,5834	24	1
Schiffenberg ^{*)}	+ 0,9706	5	1
Ilbenstadt ^{*)}	+ 0,9898	4	1

^{*)} ohne O-Horizont

5.2.1.5. Eisen der Elektro-Ultra-Filtration

Bei der Elektro-Ultra-Filtration wandern Fe^{++} und Fe^{+++} zur Kathode, wo sie Elektronen aufnehmen und als metallisches Eisen oder als Fe_2O_3 am Filter zurückbleiben.



Von dem Filter wird das Eisen mit HCl abgelöst und mit Sulfosalicylsäure kolorimetrisch bestimmt. An der Anode ist kein Eisen nachgewiesen worden. Aus der Tatsache, daß Eisen an der Kathode, nicht aber an der Anode abgeschieden wird, ist abzuleiten, daß dieses Eisen in positiver Form, d.h. als Kation vorliegt. Hierbei kann es sich um Fe-Ionen bzw. positiv geladene Fe-Kolloide der Bodenlösung oder um sorbiertes und durch die Elektrophorese austauschbares Eisen handeln. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß bei der Elektrophorese, bei der auch H_2O -Moleküle gespalten werden, die metall-organischen Verbindungen unter Freisetzung des Eisens zerfallen.

Die Fe-Gehalte dieser Fraktion sind sehr niedrig (Maximum 6,48 mg/100 g Boden) (Tab. 18). Abgesehen von dem B_s -Horizont bzw. dem Eisenband 1 sind die höchsten absoluten Gehalte an Fe_2O_3 dieser Fraktion in den humosen A_h -Horizonten zu finden (Tab. 18), was mit Befunden von JUNG und NEMETH (1969) übereinstimmt. Auch der Anteil am amorphen bzw. säurelöslichen Eisen (in ‰ des amorphen bzw. H_2SO_4 -löslichen Eisens) ist, abgesehen vom B_s -Horizont des Profils Gröbner, im A_h -Horizont im Maximum. Der Grund dafür kann auf der positiven Wirkung der organischen Substanz hinsichtlich der Lösung bzw. Mobilität von Eisen beruhen.

Bemerkenswert sind die höheren Relativwerte in den tonreichen B_{v2} - und B_t - bzw. II B_t -Horizonten der Profile A m Giegener Stadtwald und Ilbenstadt. Das unterstützt die Vermutung, daß ein Teil der EUF-Eisen als sorbiertes vorliegt.

Tabelle 18: Eisen der Elektro-Ultra-Filtration

Hori- zont	mg Fe ₂ O ₃ / 100 g Boden	in ‰		Hori- zont	mg Fe ₂ O ₃ / 100 g Boden	in ‰	
		Fe _o	FeH ₂ SO ₄			Fe _o	FeH ₂ SO ₄
Profil Daubringen				Profil Ilbenstadt			
A _{he}	6,05	13,1	213,8	A _h	5,41	16,1	150,3
B _{sv}	1,92	5,3	65,7	A ₁	1,24	3,7	34,9
Profil Gröbner				B _t	1,18	4,3	50,9
A _h	1,32	24,4	178,4	IIB _t	1,10	7,2	113,4
A _e	0,69	20,3	150,0	IIC	sp.	-	-
B _s	2,04	37,1	102,0	Profil Schiffenberg			
Profil Hangelstein I				A _h	6,48	30,6	257,1
A _h	1,50	24,2	87,2	S _w	2,04	12,1	79,3
Fe-Bd.1	1,62	10,6	26,9	S _d	0,66	7,6	48,2
Zw-Bd.1	sp.	-	-	G _o	0,51	8,6	49,5
Fe-Bd.2	0,86	20,0	-	G _r	sp.	-	-
Profil Am Gießener Stadtwald				Profil Hangelstein II			
A _h	2,60	6,6	137,5	A _h	2,42	6,3	94,2
B _{v1}	1,00	3,0	18,8	B _{v1}	1,20	3,6	50,0
B _{v2}	1,87	4,5	48,8	B _{v2}	1,00	3,1	39,7
B _{v3}	0,63	2,8	20,4				

Auch die höheren Werte in den A_h -Horizonten sprechen dafür. Da die organischen Verbindungen höhere Austauschkapazität besitzen als der Ton, sind die höheren Werte in den A_h -Horizonten erklärlich, abgesehen von dem oben bereits erwähnten Verhalten Fe-organischer Komplexe. Besonders auffallend ist der niedrige Wert in dem Eisenband 1 trotz des höheren absoluten Wertes; er ist auf den höheren Gehalt an amorphem Eisen in diesem Horizont zurückzuführen.

5.2.2. Freie Aluminiumoxide

5.2.2.1. NaOH-lösliche Aluminiumoxide

Unter freien Aluminiumoxiden (0,5 n NaOH; Methode FOSTER) sind in diesem Zusammenhang zu rechnen: sorbierte Al^{3+} -Ionen, Aluminiumoxide sowie organisch gebundene Aluminiumoxide. Ferner kann Aluminium aus silikatischen Mineralen freigesetzt werden, da durch diese Methode auch Silikate angegriffen werden können.

Der Gehalt an freiem Al_2O_3 schwankt in allen Bodenprofilen zwischen 0,01 und 0,73 % (Tab. 10; Abb. 12).

In den Profilen Daubringen und Hangelstein II nimmt dieser analog dem freien Eisenoxid vom A_{he} - bzw. A_h -Horizont bis zum B_{sv} - bzw. B_{v2} -Horizont von 0,24 bzw. 0,31 auf 0,53 bzw. 0,56 % zu. Diese Anreicherung in den B-Horizonten kann, wie beim freien Eisen, durch die Verlagerung des Aluminiumoxids im niedrigen pH-Bereich erklärt werden (HALLSWORTH et al., 1953), da die Löslichkeit der Al-Oxide im pH-Bereich unter pH 8 mit sinkender pH-Zahl steigt. Über die Beteiligung von Huminstoffen auf die Aluminiummobilität bzw. Verlagerung wird in Kapitel 6 eingegangen.

Im Profil Gröbner entspricht die Tiefenfunktion des freien Al_2O_3 der des freien Fe_2O_3 ; es nimmt vom A_h - bis zum B_s -

Horizont zu. Zwischen dem Tongehalt und dem Gehalt an freiem Al_2O_3 besteht in diesem Profil keine Beziehung, während im Profil Hangelstein I diese vorhanden ist (Tab. 19 und Abb. 1.). Auch im Profil Am Gießener Stadtwald nimmt in dem Horizont mit dem Tonmaximum das freie Aluminium zu.

In den Profilen Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt liegt das Maximum an freiem Al_2O_3 in den A_h -Horizonten. Diese weisen sehr niedrige pH-Werte (4,0 bzw. 3,5 und 3,0) auf, wodurch die Löslichkeit der Al-haltigen Verbindungen erhöht wird. Ferner übt auch die organische Substanz einen direkten Einfluß auf die Löslichkeit aus.

Im Profil Schiffenberg nimmt der Aluminiumgehalt im S_w -Horizont stark ab und steigt dann im S_d -Horizont schwach an, ohne den Wert im A_h -Horizont zu erreichen. Eine klare Beziehung zwischen dem freien Aluminium und dem Tongehalt besteht auch in diesem Profil nicht.

Es ist ersichtlich, daß im G_o -Horizont mehr freies Aluminium vorhanden ist als im G_x -Horizont. Unter den aciden Bedingungen (pH 4,4 bzw. 4,9) wird ionares bzw. kolloidales Al durch die Grundwasserbewegungen und den kapillaren Wasseraufstieg nach oben transportiert. Im Profil Ilbenstadt nimmt der Gehalt an freiem Al_2O_3 vom A_h - zum A_l -Horizont ab, steigt dann wieder im II B_t -Horizont; es erreicht in diesem Horizont etwa den Wert des A_h -Horizontes und nimmt im C-Horizont wieder stark ab.

Wie schon erwähnt, koinzidiert in einigen Profilen der Gehalt an freiem Aluminiumoxid mit dem Tongehalt. Um die Frage zu beantworten, inwieweit die Tonverlagerung bzw. der Tongehalt auf die Verlagerung bzw. die Mobilität vom Aluminiumoxid einen Einfluß hat, wurde der Tongehalt dem Gehalt an freiem Aluminiumoxid gegenübergestellt (Tab. 19).

Tabelle 19: Beziehungen zwischen dem Ton (x) und dem Gehalt an freiem Aluminiumoxid (y)

Profil	r	n	P
Gesamt	+ 0,5526	28	1
Hangelstein I	+ 0,9196	8	1
Hangelstein II	+ 0,9901	3	1

Eine statistisch gesicherte Beziehung beider Größen zueinander besteht nur bei Verrechnung aller Horizonte sowie in den Profilen Hangelstein I und II.

Wahrscheinlich sind die fehlenden Beziehungen in den anderen Profilen auf die überwiegend sedimentär und nicht pedogen bedingte Tonanreicherung in tieferen Horizonten zurückzuführen. Bei einer Gegenüberstellung dieser beiden Größen und einem Vergleich mit den Verhältnissen Ton und freies Eisen ist zu berücksichtigen, daß bei dem Prozeß der Tonbildung aus silikatischen Mineralen unter den Bedingungen des gemäßigt humiden Klimas Aluminium bevorzugt in die Tonmineralgitter eingebaut wird und somit die Tendenz der Bildung freier Aluminiumoxide geringer ist als die der freien Eisenoxide. Bei Verrechnung aller Horizonte ist auch die Beziehung zwischen Gesamtaluminium und NaOH-löslichen Aluminium positiv gesichert, während bei Einzelverrechnung diese nur im Profil Hangelstein I gegeben ist (Tab. 20).

Tabelle 20: Beziehungen zwischen Gesamtaluminium (x) und NaOH-löslichen Al_2O_3 (y)

Profil	r	n	P
Gesamt ^{*)}	0,4814	28	1
Hangelstein I ^{*)}	0,7229	8	5

^{*)} ohne O-Horizont

5.2.2.2. H_2SO_4 -lösliche Aluminiumoxide

Der Gehalt an in 0,05 n Schwefelsäure löslichem Aluminiumoxid variiert zwischen 28,6 und 308,9 mg/100 g Boden. Im Gegensatz zum Eisenoxid ist das Aluminiumoxid dieser Fraktion im O-Horizont nur gering vertreten. In den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt nehmen die Gehalte an Aluminiumoxid, wie die des Eisenoxides, mit zunehmender Tiefe stetig ab. In den Profilen Gröbner und Am Gießener Stadtwald liegt ebenfalls der höchste Anteil in den A-Horizonten; es tritt jedoch ein zweites Maximum in den B_s - bzw. B_{v2} -Horizonten auf, wie es auch bei dem gesamten freien Aluminiumoxid (NaOH-lösliches Aluminium) der Fall ist. Auch die B_{sv} - und B_{v1} -Horizonte der Profile Daubringen und Hangelstein II, sowie das Eisenband 1 des Profils Hangelstein I weisen ein Maximum an Aluminium auf.

Der Anteil des säurelöslichen Aluminiumoxids ausgedrückt in %o des Gesamt-Al-Gehaltes, ist mit 7,1 bis 102,3 gering, (Tab. 21), jedoch höher als der des säurelöslichen Eisenoxids am Gesamteisenoxid. Die O-Horizonte werden in dieser Betrachtung nicht einbezogen, da von diesen die entsprechenden Bezugswerte nicht analysiert wurden. Abgesehen von Profil Hangelstein II (Maximum des relativen Gehaltes im B_{v1} -Horizont) ist der Anteil am Gesamtaluminium jeweils in den A-Horizonten am höchsten. Bei den Profilen Daubringen, Hangelstein I und Ilbenstadt nimmt dieser Anteil mit abnehmender Tiefe stetig ab. Auffallend ist die Abnahme des Anteils am Gesamtaluminium von dem A_h -Horizont zum Eisenband 1 des Profils Hangelstein I bei zunehmenden absoluten Gehalten, wie es auch beim Eisen der Fall ist, da der Gesamtgehalt stärker zunimmt. Die entgegengesetzte Tendenz weist das freie Aluminium (NaOH-lösliche Al) auf (in Prozent des Gesamt-Al: $A_h = 5,4$; Eisenband 1 = 9,3). Unter der Voraussetzung, daß das freie Aluminium überwiegend pedogener Natur ist und daß Gitteraluminium nicht oder nur in geringem

Tabelle 21: H_2SO_4 -lösliches Aluminiumoxid

Horizont	mg Al_2O_3 / 100 g Boden	in o/oo		$\frac{Al_2O_3H_2SO_4}{Al_2O_3NaOH}$	mg Al_2O_3 / 100 mg C
		Al_2O_{3t}	Al_2O_{3NaOH}		
PROFIL DAUBRINGEN					
O	32,8	-	-	-	-
A _{he}	155,7	48,96	648,75	0,65	52,56
B _{sv}	162,2	38,80	377,21	0,38	110,79
PROFIL GRÖBNER					
A _h	59,8	32,68	747,50	0,75	47,84
A ₁	34,2	9,22	285,00	0,29	182,89
B _s	51,5	21,24	343,33	0,34	525,51
PROFIL HANGELSTEIN I					
O	28,6	-	-	-	-
A _h	50,3	30,30	558,88	0,56	78,22
Eisenband 1	60,4	18,7	201,33	0,20	227,02
PROFIL AM GIESSENER STADTWALD					
O	58,8	-	-	-	-
A _h	308,9	102,32	498,22	0,50	145,51
B _{v1}	192,7	45,66	492,31	0,49	206,09
B _{v2}	202,9	45,29	374,83	0,33	372,29
B _{v3}	141,9	72,77	330,30	0,33	909,61
PROFIL SCIFFENBERG					
O	68,4	-	-	-	-
A _h	172,6	27,31	410,95	0,41	119,69
S _w	131,9	19,67	399,70	0,40	111,67
S _d	71,1	7,09	187,10	0,19	137,52
G _o	88,4	14,96	263,07	0,26	522,13
G _r	45,5	10,55	227,50	0,23	517,04
PROFIL ILBENSTADT					
O	58,4	-	-	-	-
A _h	173,1	31,99	243,66	0,24	112,26
A ₁	152,1	25,52	266,84	0,27	172,06
B _t	91,4	12,66	142,81	0,14	383,85
IIB _t	40,6	2,48	58,00	0,06	165,04
PROFIL HANGELSTEIN II					
A _h	128,2	18,15	413,55	0,41	108,82
B _{v1}	151,9	20,06	361,66	0,36	175,20
B _{v2}	125,6	15,39	222,50	0,22	169,27

Umfang erfaßt wurde, deuten diese Ergebnisse auf eine relativ schnelle Alterung und somit Übergang in schwerlösliche pedogene Al-Oxide hin. Im Profil Schiffenberg nimmt der relative Anteil vom A_h - bis zum S_d -Horizont stetig ab, in den G_o - bzw. G_r -Horizonten jedoch wieder zu. Die höheren absoluten Werte in dem B_s - bzw. B_{v1} -Horizont der Profile Gröbner und Hangelstein II ziehen auch höhere Relativwerte nach sich.

Die Beziehungen zwischen dem Gesamt-Aluminium und dem säurelöslichen Aluminium sind nur in den Profilen Gröbner und Ilbenstadt statistisch gesichert; in beiden Fällen ist die Korrelation negativ (Tab. 22). Da der überwiegende Anteil des Gesamtaluminiums in silikatischen Mineralen gebunden ist, worauf an anderer Stelle noch näher eingegangen werden soll, erfolgt in der Parabraunerde (Profil Ilbenstadt) eine Anreicherung in den B_t -Horizonten, während die Tiefenfunktion des säurelöslichen Aluminiums als Fraktion des pedogenen Aluminiums sich umgekehrt verhält.

Tabelle 22: Beziehungen zwischen Gesamtaluminium (x) und 0,05 n H_2SO_4 -löslichem Aluminium (y)

Profil	r	n	P	$y = a + b \cdot x$
Gröbner *)	- 0,9998	3	1	$= 0,107 - 0,0135 x$
Ilbenstadt *)	- 0,8931	4	5	$= 0,799 - 0,0101 x$

*) ohne O-Horizont

Da das säurelösliche Aluminiumoxid ein Teil des NaOH-löslichen Aluminiumoxides ist, gibt das Verhältnis beider Größen zueinander bessere Auskunft über die Mobilisation bzw. die Verlagerung innerhalb des Profils. Analog dem Aktivitätsgrad des Eisens nach SCHWERTMANN (1964) wurden die Verhältnisse des säurelöslichen zum NaOH-löslichen Aluminium berechnet (Tab. 21). Diese schwanken zwischen 0,24 und 0,75,

d.h. 24 bis 75 % des NaOH-löslichen Aluminiumoxids sind säurelöslich. Abgesehen vom A_1 -Horizont des Profils Ilbenstadt weisen die Verhältnisse in den humosen A-Horizonten die höchsten Werte auf. Dies ist durch den Einfluß der organischen Substanz auf die Löslichkeit des Aluminiumoxids bzw. die Bindung des Aluminiums an organischer Substanz zu erklären. In den Profilen Daubringen, Hangelstein I, Am Gießener Stadtwald und Hangelstein II nehmen die Verhältnisse mit abnehmender Tiefe ab. Eine Verlagerung von säurelöslichem Aluminium ist in den B_s - bzw. A_1 -Horizonten der Profile Gröbner und Ilbenstadt festzustellen. Die Verhältnisse im Profil Ilbenstadt nehmen dann, wie bei den anderen Profilen, mit der Tiefe wieder ab.

Die Beziehungen zwischen NaOH- und 0,05 n H_2SO_4 -löslichem Aluminiumoxid sind nur im Profil Schifffenberg innerhalb einer Überschneidungswahrscheinlichkeit von 5 %, sowie bei der Verrechnung aller Horizonte statistisch gesichert (Tab. 23).

Tabelle 23: Beziehungen zwischen NaOH- (x) und 0,05 n H_2SO_4 -löslichem Aluminiumoxid (y)

Profil	r	n	P	$y = a + b \cdot x$
Gesamt*)	+ 0,6217	24	1	0,0066 + 0,339
Schifffenberg*)	+ 0,8294	4	5	- 0,0318 + 0,390

*) ohne O-Horizont

5.2.3. Freie Kieselsäure

Durch 0,5 n NaOH wird, neben freier (= amorpher) Kieselsäure, auch mehr oder weniger hohe Anteile Gitter-Si primärer und sekundärer silikatischer Minerale gelöst. Die Löslichkeit dieser Gitterbestandteile ist abhängig von den Kristallen und deren Kristallisationsgrad.

Der Gehalt dieser Fraktion ist in allen Profilen gering. Er schwankt zwischen 0,13 - 0,70 % (Tab. 10); die A_h - und A_l -Horizonte des Profils Ilbenstadt bilden mit 1,18 bzw. 1,08 % eine Ausnahme. Diese geringen Gehalte an freier Kieselsäure können eine Folge des geringen pH-Wertes sein. Die Kieselsäure wurde im Laufe der Zeit infolge der höheren Löslichkeit bei saurer Reaktion bereits stark ausgewaschen. So stellten BECKWITH und REEVE (1964) fest, daß einzelne Böden sich in den löslichen Si-Mengen erheblich unterscheiden. Die höchsten Mengen werden in schwach sauren, neutralen und schwach alkalischen Böden gefunden, während saure Böden durch Auswaschung an Si verarmt sind. Auch nach McKEAGUE und CLINE (1963) sowie SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN (1967) sinkt die Si-Löslichkeit mit steigendem pH; nach den letztgenannten Autoren ist die Löslichkeit bei pH 10 - 11 am niedrigsten.

In den humosen Oberböden der Profile Daubringen, Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt wurde mehr lösliche Kieselsäure analysiert als im Unterboden (Tab. 10). SCHACHTSCHABEL und KÖSTER (1959) bzw. SCHROEDER (1954) haben an Böden aus Schlick bzw. Löß festgestellt, daß das Maximum der löslichen Kieselsäure auf Grund der höheren Verwitterungsintensität im Oberboden liegt. Besonders die Profile Daubringen und Ilbenstadt zeigen eine deutliche Anreicherung der Kieselsäure im A_h -Horizont, die nach KUNDLER (1961) vornehmlich auf biologischer Akkumulation beruhen soll. SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN (1967) führen die positive Beziehung zwischen Si-Löslichkeit und C-Gehalt in den A-Horizonten u.a. auf die Anreicherung der Bioopale sowie auf die negative Wirkung der organischen Substanz auf die Alterung der Kieselsäure zurück. Im Profil Gröbner nimmt der Gehalt an freier Kieselsäure vom A_h - bis zum A_e -Horizont zunächst ab und steigt in den B_g - und B_t -Horizonten wieder an; diese Tiefenfunktion deutet auf eine Verlagerung freier Kieselsäure hin. Im Gegensatz dazu ist sie im

Profil Hangelstein I fast konstant verteilt; diese Verteilung spricht nicht zwangsläufig gegen eine Verlagerung, sie könnte sich auf das gesamte Profil erstrecken. Auffallend ist die Anreicherung an Kieselsäure im S_w -Horizont des Profils Schiffenberg. Der Grund dafür kann der Einfluß der Staunässe als Alterungshemmung sein. Es kann aber auch der dichte S_d -Horizont die Verlagerung von Kieselsäure verhindern bzw. verzögern. In diesem Horizont wurde der niedrigste Wert an Kieselsäure ermittelt. In den vergleyten Horizonten liegt der Gehalt an freier SiO_2 im G_o -Horizont mit 0,48 % höher als im G_r -Horizont (0,42 %). Die freie Kieselsäure ist wahrscheinlich durch die Grundwasserbewegung in den G_o -Horizont transportiert und angereichert worden. Im Profil Ilbenstadt nimmt der Gehalt an freier SiO_2 vom A_h -Horizont mit 1,18 bis zum IIB_t -Horizont mit 0,46 % stetig ab. In diesem Profil erfolgt keine Si-Verlagerung, wie es bei den Sesquioxiden der Fall ist.

Ferner besteht keine Beziehung zwischen dem Tongehalt und der freien Kieselsäure. Die Bildung von Sorptionsverbindungen zwischen Kieselsäure und Sesquioxiden kann unter den herrschenden Reaktionsbedingungen ausgeschlossen werden.

5.2.4. Molekularverhältnisse

Durch die Molekularverhältnisse SiO_2/R_2O_3 bzw. Al_2O_3 und Fe_2O_3 allein kann u.U. wenig über die Verlagerung des freien Eisens und Aluminiums ausgesagt werden, da der unterschiedliche Gehalt an freier Kieselsäure in dem Solum die Verhältnisse beeinflussen kann. Im allgemeinen sind die Verhältnisse dort enger, wo der Gehalt an freier Kieselsäure niedrig und/oder der der Sesquioxide hoch ist (Tab. 12).

Eine im Verhältnis zum Eisen stärkere Anreicherung des freien Aluminiums mit zunehmender Tiefe ist in den Profilen Daubringen, Gröbner, Am Gießener Stadtwald, Hangelstein I und II aus den $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Verhältnissen abzuleiten. Auch im Profil Schiffenberg erweitert sich das freie $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Verhältnis mit der Tiefe bis zum S_d -Horizont. In den vergleyten Horizonten läßt dieses Verhältnis auf eine bevorzugte Anreicherung von Aluminiumoxid im G_r -Horizont und auf eine der freien Eisenoxide im G_o -Horizont schließen, obwohl die absoluten Werte in diesem Horizont niedriger als im G_o -Horizont sind. Im Profil Ilbenstadt wird das freie Al_2O_3 -Verhältnis mit der Tiefe enger, da das freie Eisenoxid in dieser Richtung zunimmt.

5.3. Die gebundenen Oxide

Als gebundene Eisen- und Aluminiumoxide handelt es sich um silikatisch gebundene Oxide, die nicht dithionit- bzw. 0,5 n NaOH-löslich sind. (= $\text{Fe}_t - \text{Fe}_d$ bzw. $\text{Al}_t - \text{Al}_{\text{NaOH}}$) Unter gebundener Kieselsäure versteht man hier die gesamte nicht in 0,5 n NaOH lösliche Kieselsäure. Sie umfaßt in den überwiegend sandigen Substraten vor allem den Quarz sowie das Silicium silikatischer Minerale.

5.3.1. Silikatisch gebundenes Eisen

Mit Ausnahme des Profils Daubringen weisen die silikatisch gebundenen Eisenoxide höhere Werte auf als die freien Eisenoxide (Tab. 10). Diese schwanken zwischen 0,22 - 4,39 % bzw. 52 - 91 % des Gesamteisengehaltes (Tab. 24). Die entsprechenden Werte des Profils Daubringen belaufen sich auf 0,49 - 0,54 % bzw. 36 - 42 %.

Abgesehen vom B_{v1} -Horizont des Profils Hangelstein II weist

Tabelle : Silikatisch gebundenes Eisen und Aluminium in Prozent des Gesamteisens und Gesamtaluminiums

Horizont	Fe	Al	Horizont	Fe	Al
Profil Daubringen			Profil Am Gießener Stadtwald		
A _{he}	42	92	A _h	64	77
B _{sv}	36	90	B _{v1}	60	91
			B _{v2}	58	87
Profil Gröbner			B _{v3}	66	78
A _h	56	96	C	83	77
A _e	57	97			
B _s	52	94	Profil Schiffenberg		
(A _e B _s) ^x	86	98	A _h	71	92
C	90	99	S _w	74	95
			S _d	91	96
Profil Hangelstein I			G _o	83	94
A _h	72	94	G _r	82	95
Fe- Bd. 1	89	97			
Zw. Bd. 1	86	97	Profil Ilbenstadt		
Fe- Bd. 2	88	88	A _h	69	86
To. Bd. 1	80	90	A _l	61	90
To. Bd. 2	84	82	B _t	64	91
Zw. Bd. 2	88	92	IIB _t	79	96
Fe- Bd. 3	68	94	IIC	79	91
			Profil Hangelstein II		
			A _h	73	96
			B _{v1}	63	94
			B _{v2}	70	93

das silikatisch gebundene Eisenoxid dieselbe Tiefenfunktion wie die des Gesamtgehaltes an Eisenoxid auf.

Wie aus Tabelle 24 ersichtlich, nehmen die relativen Werte (silikatisches Eisen in Prozent des Gesamteisens) in den Profilen Gröbner, Schiffenberg und Ilbenstadt nach der Tiefe hin zu. Das erklärt sich aus der Tatsache, daß die Verwitterungsintensität und die Freisetzung von Sesquioxiden in dieser Richtung abnehmen. Eine Ausnahme macht der B_s -Horizont des Profils Gröbner. Der geringe Anteil an gebundenem Eisen in diesem Horizont ist auf die Anreicherung freier Eisenoxide zurückzuführen. Aus demselben Grund sind die relativen Werte im Unterboden der Profile Daubringen und Hangelstein II und im B_{v2} -Horizont des Profils Am Gießener Stadtwald relativ niedrig.

5.3.2. Silikatisch gebundenes Aluminium

In allen untersuchten Profilen überwiegt das gebundene Aluminiumoxid gegenüber dem freien Aluminiumoxid. Die absoluten Werte liegen zwischen 0,88 und 8,53 % (Tab. 10); der IIB_t -Horizont des Profils Ilbenstadt macht eine Ausnahme (15,68 %). Die relativen Werte liegen zwischen 77 und 99 % des Gesamtaluminiumgehaltes. Die Tiefenfunktionen der gebundenen Aluminiumoxide entsprechen in etwa denen des Gesamtaluminiumgehaltes (Tab. 10) und stehen in enger Beziehung zum Ton.

Die relativen Werte (gebundenes Aluminium in Prozent des Gesamtaluminiums) nehmen in den Profilen Gröbner, Schiffenberg und Ilbenstadt mit zunehmender Tiefe zu (Tab. 24). Diese Erscheinung ist, analog dem gebundenen Eisenoxid, auf die mit der Tiefe abnehmende Verwitterungsintensität zurückzuführen. Der relativ geringe Anteil im B_s -Horizont des Profils Gröbner ist durch die Anreicherung des freien Aluminiums zu erklären. Aus diesem Grund sind auch die re-

lativen Werte im Unterboden der Profile Daubringen und Hangelstein II niedriger als im A_h -Horizont.

5.3.3. Gebundene Kieselsäure

In sämtlichen Bodenprofilen ist der größte Teil der SiO_2 in gebundener Form vorhanden. Die Werte schwanken zwischen 66,02 und 95,82 % und gehen mit dem Gesamtgehalt an SiO_2 parallel (Tab. 10).

Die Beziehung zwischen Tongehalt und gebundener Kieselsäure ist negativ ($r = -0,6750$; $n = 28$; $P = 1$), da die gebundene Kieselsäure hauptsächlich aus Quarz besteht und der Ton mehr Sesquioxide und weniger Kieselsäure enthält als der Quarzsand.

Im allgemeinen gleicht die Verteilung des silikatgebundenen Eisenoxids der des Tons. Die Beziehung zwischen beiden Größen ist mit $r = + 0,4713$ ($n = 28$; $P = 1$) gesichert. Es ist anzunehmen, daß der größte Teil des gebundenen Eisens als "Gittereisen" in der Tonfraktion vorliegt, da der Mineralbestand der gröberen Fraktionen überwiegend aus Quarz besteht. Die Beziehung zwischen Ton und gebundenem Aluminiumoxid ist mit $r = + 0,7527$ ($n = 28$; $P = 1$) gesichert. Da das gebundene Aluminiumoxid ein wesentlicher Bestandteil des Tones ist und die Zusammensetzung des Tones hinsichtlich des Al-Gehaltes gleichmäßiger ist als hinsichtlich des Fe-Gehaltes, muß die Beziehung zwischen Ton und gebundenem Aluminium enger sein als zwischen Ton und gebundenem Eisen.

5.3.4 Molekularverhältnisse

Abgesehen vom B_{v1} -Horizont des Profils Hangelstein II zeigen die Molekularverhältnisse der gebundenen SiO_2/R_2O_3 bzw. Al_2O_3 und Fe_2O_3 bei allen Profilen ein ähnliches Bild wie die der Gesamtoxide (Tab. 12).

Die Verhältnisse der gebundenen Oxide werden im allgemeinen vom Tongehalt der Horizonte beeinflusst, so daß in den Horizonten mit hohen Tongehalten engere Verhältnisse vorliegen. Das Verhältnis $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ wird stärker vom Tongehalt beeinflusst als das $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Verhältnis.

Die Verhältnisse gebundene $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ bzw. Al_2O_3 und Fe_2O_3 sind durchweg weiter als die der Gesamtoxide, da von Sesquioxiden im allgemeinen höhere Anteile in freier Form auftreten als dies bei der NaOH-löslichen Kieselsäure der Fall ist.

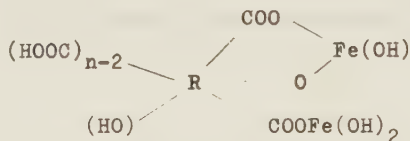
6. Organische Substanz und pedogene Oxide

Abgesehen von stark saurer Bodenreaktion und stark reduzierenden Bedingungen sind die Löslichkeit und die Mobilität der Sesquioxide gering (u.a. LOUGHNAN, 1969). Beide Prozesse werden durch organische Substanzen positiv beeinflusst.

BLOOMFIELD (1953 a + b) konnte in Modellversuchen nachweisen, daß wässrige Nadel- und Blattextrakte Eisen- und Aluminiumoxide lösen und komplexieren. Bedingt durch die Hydrophylie dieser Verbindungen ist unter entsprechenden Voraussetzungen eine Verlagerung möglich. Diese Extrakte sind befähigt, Eisen auch in Gegenwart von Sauerstoff zu reduzieren. COULSON, DAVIES und LEWIS (1960) stellten fest, daß Polyphenole im niedrigen pH-Bereich dreiwertiges Eisenoxid bzw. -hydroxid im sterilen Medium zu zweiwertigen Verbindungen reduzieren und in Form wasserlöslicher Komplexe binden. Auch niedermolekulare Huminstoffe, besonders Fulvosäuren, bilden nach DEB (1949), TJURIN (zit. in KONONOWA, 1958), WRIGHT und SCHNITZER (1963) u.a. mit Fe- und Al-Ionen wasserlösliche metall-organische Komplexe, die mit dem Sickerwasser in tiefere Horizonte verlagert werden können. Nach

TAN (1966) wird im gemäßigten Klima das Eisen bevorzugt an Fulvosäuren, im tropischen Klima dagegen an Huminsäuren gebunden und mit diesen verlagert.

Das Eisen soll nach der Vorstellung ALEXANDROVA'S (1960) und LEVASHKEVICH' (1966) wie folgt mit der organischen Substanz assoziiert sein:



Ferner kann Eisen durch Mikroorganismen unter anaeroben Verhältnissen reduziert und somit mobilisiert werden (ALBRECHT, 1941, zit. in HALLSWORTH et al., 1953). HARRIS (1961) hat im Küstengebiet von Britisch-Guayana eine Korrelation zwischen der Anhäufung organischer Substanz und dem löslichen Aluminium festgestellt.

Den obigen Ausführungen zufolge übt die organische Substanz einen maßgeblichen Einfluß auf die Verteilung des pedogenen freien Eisens hinsichtlich der Freisetzung aus silikatischen Mineralen und der Verteilung innerhalb des Profils infolge von Verlagerungsprozessen aus. Es liegt somit nahe, diese Größen gegenüberzustellen. Schon aus einem Vergleich des freien Eisens mit den verschiedenen Fraktionen der organischen Substanz (C_t ; C_{ex} ; C_H ; C_F ; C_S) (Tab. 25) läßt erkennen, daß statistisch gesicherte Beziehungen in den meisten Fällen nicht zu erwarten sind. Nur in den Profilen Schiffenberg und Hangelstein II sind diese gesichert; in dem ersten Profil ist die Beziehung positiv, im Profil Hangelstein II dagegen negativ (Tab. 25). Diese Befunde überraschen nicht; sie können wie folgt gedeutet werden: Abgesehen von der sedimentär bedingten Verteilung des nichtsilikatisch gebundenen Eisens kann dieses zwar durch die ver-

Tabelle 25: Beziehungen zwischen Gesamtkohlenstoff (C_t), extrahierbaren organischen Substanzen (C_{ex}), Huminsäuren (C_H) und Fulvosäuren (C_F) (x) und dem dithionit-löslichen Eisen (y)

Profil	C_t	C_{ex}	C_H	C_F	C_s
Schiffenberg	$r = + 0,8266$	$+ 0,8776$	$+ 0,8960$	$+ 0,8530$	-
(n = 5)	$P = 5$	5	5	5	
$y = a+b.x$	$0,243+0,00008x$	$0,248+0,0001x$	$0,256+0,0003x$	$0,244+0,0002x$	-
Hangelstein II	$r = - 0,9913$	$- 0,9739$	$- 0,9837$	$- 0,9705$	$- 0,9977$
(n = 3)	$P = 1$	5	5	5	1
$y = a+b.x$	$1,504-0,0004x$	$1,699-0,001x$	$1,91-0,005x$	$1,63-0,002x$	$2,16-0,01x$

witterungsfördernde Wirkung der organischen Substanz freigesetzt werden - die Gehalte sind allgemein in den humosen Oberböden höher als in den Unterböden - oder mit der organischen Substanz verlagert worden sein. Bei der Immobilisierung dieser Verbindungen werden, sofern es sich nicht um biologisch inaktive Böden handelt, die organischen Liganden oxidiert bzw. sie werden nach Abscheidung des Eisens infolge Komplexzerfalles in tiefere Horizonte verlagert. Die negative Beziehung in dem Profil Hangelstein II - Abnahme des Gehaltes an organischen Verbindungen und Zunahme des freien Eisens - resultiert vermutlich aus der engeren positiven Beziehung zwischen Ton und freiem Eisen; die positive Beziehung in dem Profil Schiffenberg (Pseudogley - Gley) deutet auf die Beständigkeit Fe-organischer Verbindungen infolge gehemmter biologischer Aktivität hin. Ferner müssen die Vielfalt der Fe-Verbindungen, aus der die Fraktion des freien Eisens zusammengesetzt ist und deren unterschiedliche Bindung an andere Bodenkonstituenten bzw. Mobilität als Grund für das Fehlen der Beziehungen zu nur einer Größe verantwortlich gemacht werden.

Die Beziehungen zwischen den verschiedenen organischen Verbindungen und dem amorphen Eisen sind in Tabelle 26 zusammengefaßt. Bei der Verrechnung aller Profile, ausgenommen Profil Ilbenstadt, sind die Beziehungen zwischen Gesamt- und extrahierbarem Kohlenstoff, Fulvosäuren sowie säurelöslichen Nichthuminstoffen und Fulvosäuren und amorphem Eisenoxid statistisch gesichert (Abb. 14, 15, 16). Innerhalb einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 % besteht die Sicherung nur in säurelöslichen Nichthuminstoffen und Fulvosäuren (C_g) und amorphem Eisen. Die anderen Beziehungen sind mit 5 % gesichert. Zwischen Huminsäuren und Eisen besteht keine Beziehung, da das Eisen und Aluminium hauptsächlich mit säurelöslichen Nichthuminstoffen und Fulvosäuren metallorganische Komplexe bilden.

Tabelle 26: Beziehungen zwischen den verschiedenen organischen Verbindungen (x) und den amorphen Eisenoxiden (y).

Profil	σ_t	σ_{ex}	σ_i	σ_p	σ_s	σ_s
Gesamt ^{*)}	r = + 0,4790	+ 0,4851		+ 0,5145	+ 0,4561	+ 0,6761
(n = 20)	P = 5	5	-	5	5	1
y = a+b.x	= 0,138+0,00008x	0,140+0,0001x		0,132+0,0002x	0,146+0,0003x	0,093+0,0014x
a in % my (Fe)	66	67	-	64	70	44
Schiffenberg	r = + 0,9649	+ 0,9034	+ 0,8415	+ 0,9405	+ 0,9138	+ 0,9944
(n = 5)	P = 1	5	5	1	5	1
y = a+b.x	= 0,954+0,0006x	0,065+0,0001x	0,075+0,0002x	0,059+0,0002x	0,066+0,0002x	0,033+0,001x
a in % my (Fe)	47	57	66	52	58	29
Hangelstein II	r = + 0,9991	+ 0,9904	+ 0,9959	+ 0,9883	+ 0,9826	+ 0,9997
(n = 3)	P = 1	1	1	5	5	1
y = a+b.x	= 0,301+0,00006x	0,273+0,0002x	0,243+0,0008x	0,282+0,0002x	0,296+0,0003x	0,209+0,0015x
a in % my (Fe)	87	79	70	81	85	60

*) ohne Profil Ilbenstadt

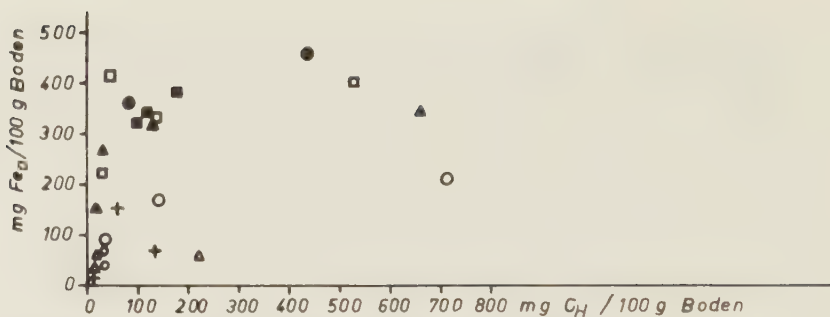


Abb.14: Huminsäure und amorphes Eisenoxid (Fe_0)

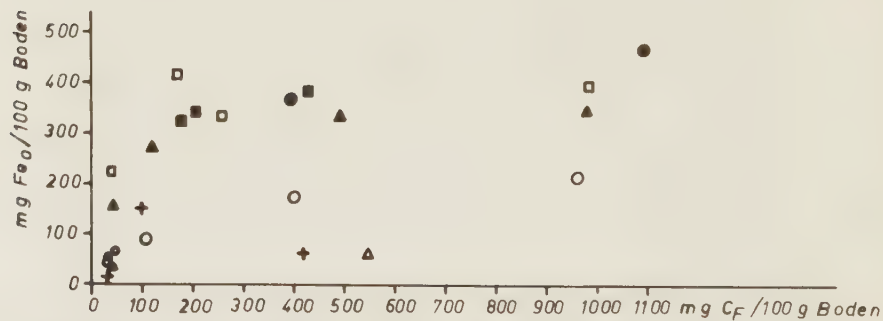


Abb.15: Gesamtfulvosäuren und amorphes Eisenoxid (Fe_0)

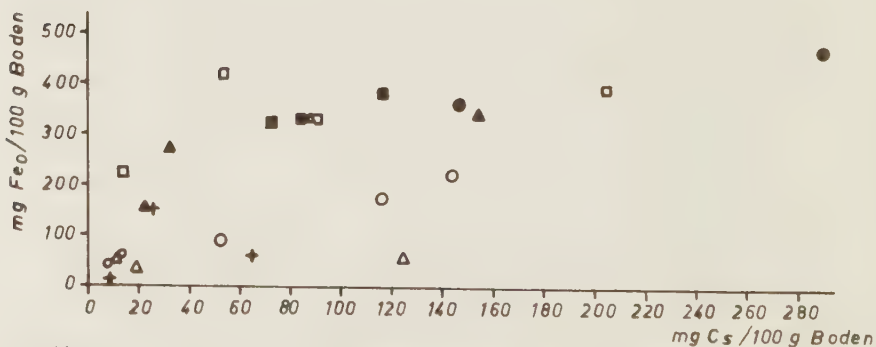


Abb.16: Säurelösliche Nichthuminstoffe und Fulvosäuren (C_S) und amorphes Eisenoxid (Fe_0)

Bei Einzelverrechnung sind die Beziehungen zwischen den Verschiedenen organischen Verbindungen und dem amorphen Eisen nur in den Profilen Schiffenberg und Hangelstein II gesichert. In den anderen Profilen konnten keine Beziehungen festgestellt werden, da in den einzelnen Horizonten sehr unterschiedliche Anteile organischer bzw. anorganischer amorpher Verbindungen vorliegen.

Aus dem Schnittpunkt der Regressionsgrade mit der y-Achse und dem Mittelwert des amorphen Eisens ist abzuleiten, daß nicht das gesamte amorphe Eisen an den verschiedenen organischen Verbindungen gebunden ist. Der Anteil des anorganischen amorphen Eisens schwankt zwischen 29 und 87 % des gesamten amorphen Eisenoxids.

Um den Einfluß der verschiedenen organischen Verbindungen auf den Aktivitätsgrad zu deuten, wurden diese dem Aktivitätsgrad gegenübergestellt (Tab. 27, Abb. 17, 18, 19). Abgesehen von der Beziehung Huminsäuren zum Aktivitätsgrad sind die anderen Beziehungen bei Verrechnung aller Profile innerhalb einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 % gesichert. Aus den Korrelationskoeffizienten ist abzuleiten, daß die säurelöslichen Nichthuminstoffe und Fulvosäuren (C_s) den größten Einfluß auf den Aktivitätsgrad ausüben. Die Einzelverrechnungen führen z.T. zu anderen Resultaten. Während im Profil Hangelstein II Beziehungen mit allen organischen Verbindungen vorhanden sind, ist im Profil Schiffenberg nur eine Beziehung zwischen säurelöslichen organischen Verbindungen (C_s) und Aktivitätsgrad ermittelt worden. Im Profil Am Gießener Stadtwald bestehen Beziehungen zwischen extrahierbaren organischen Substanzen, Huminsäuren und säurelöslichen organischen Verbindungen und dem Aktivitätsgrad. In den anderen Profilen bestehen keine Beziehungen, da, wie bei der Besprechung der Beziehungen amorphen Eisens zu den organischen Verbindungen eingegangen wurde, in den einzelnen Horizonten sehr unterschiedliche Anteile

Tabelle 27: Beziehungen zwischen den verschiedenen organischen Verbindungen (x) und dem Aktivitätsgrad (y)

Profil	C_t	C_{ex}	C_H	C_F	$C_F - C_s$	C_s
Gesamt ^{*)}	$r = + 0,5687$	$+ 0,5589$	$+ 0,4828$	$+ 0,5867$	$+ 0,5556$	$+ 0,6443$
(n = 20)	$P = 1$	1	5	1	1	1
Schiffenberg	$r = -$	-	-	-	-	$+ 0,8859$
(n = 5)	$P = -$	-	-	-	-	5
Hangelstein II	$r = + 1,000$	$+ 0,9957$	$+ 0,9990$	$+ 0,9943$	$+ 0,9902$	$+ 0,9976$
(n = 3)	$P = 1$	1	1	1	1	1
Am Gießener Stadtwald	$r = -$	$+ 0,8786$	$+ 0,8810$	-	-	$+ 0,9472$
(n = 4)	$P = -$	5	5	-	-	5

^{*)} ohne Profil Ilbenstadt

Aktivi-
tätsgrad

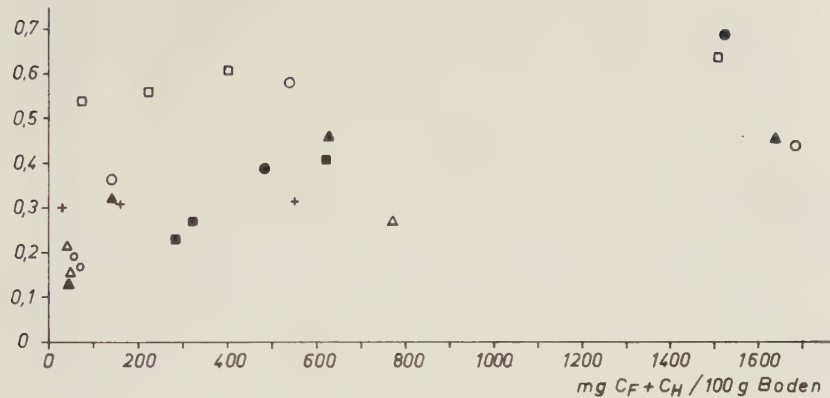


Abb. 17: Einfluß der Huminstoffe auf den Aktivitätsgrad

Aktivi-
tätsgrad

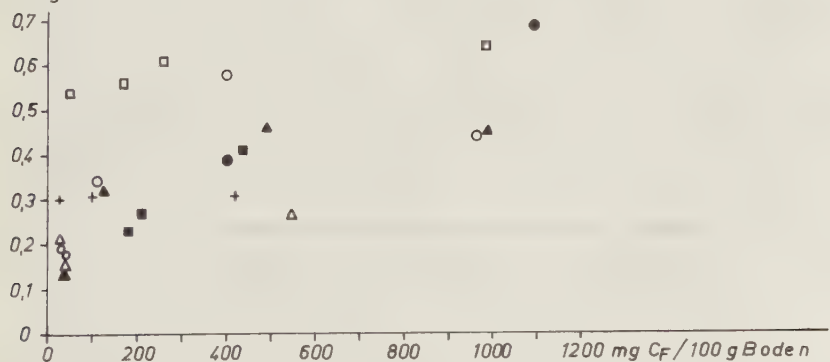


Abb. 18: Einfluß der Gesamtfulvosäuren auf den Aktivitätsgrad

Aktivi-
tätsgrad

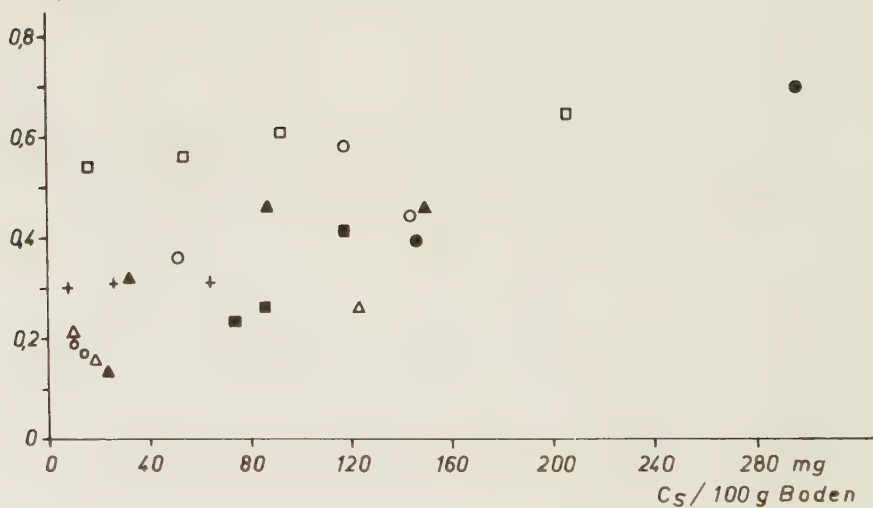


Abb. 19: Einfluß der säurelöslichen Nichthuminstoffe und Fulvosäuren auf den Aktivitätsgrad

organischer bzw. anorganischer amorpher Eisenoxide vorliegen dürften.

Bei der Besprechung des säurelöslichen Eisenoxids wurde darauf hingewiesen, daß ein Zusammenhang zwischen den säurelöslichen Nichtthuminstoffen und Fulvosäuren einerseits und dem säurelöslichen Eisen andererseits besteht. Die entsprechenden Werte der gesamten Horizonte sind in Abb. 20 aufgetragen. Statistisch gesichert ist diese Beziehung jedoch nur im Profil Schiffenberg ($r = + 0,9761$; $P = 1$). Die Ursache für die in den übrigen Profilen nicht gesicherte Beziehung ist wahrscheinlich darin zu suchen, daß die Form der Bindung sehr heterogen und besonders im Unterboden das Eisen überwiegend anorganisch gebunden ist. Es kann auch bei saurer Reaktion Al^{3+} in Konkurrenz mit dem Eisen treten und dieses während der Wanderung Fe-organischer Verbindungen aus seiner Bindung mit der organischen Substanz verdrängen bzw. die Komplexbildung des Eisens überhaupt herabsetzen (PREUSSE, 1969). Auf die Beziehungen zwischen organischer Substanz und Aluminium wird später eingegangen.

Die Verhältnisse Eisen zu Kohlenstoff ($mg\ Fe_2O_3/100\ mg\ C$) steigen in allen Profilen, mit Ausnahme der Profile Schiffenberg und Ilbenstadt, von oben nach unten an (Tab. 16). Nach ALEXANDROVA (1960) soll ein Anstieg dieser Verhältnisse auf eine Zunahme Fe-organischer Verbindungen hinweisen. Demnach müßte eine lösungsschemische Verlagerung des Eisens in allen Profilen stattgefunden haben. Die Beziehungen zwischen säurelöslichen organischen Verbindungen und Eisen deuten das aber nicht an, nur im Profil Schiffenberg ist eine solche Beziehung eindeutig nachzuweisen. Die im Unterboden steigenden Verhältnisse ergeben sich weitgehend aus den niedrigen Gehalten an säurelöslichen organischen Verbindungen in den tieferen Horizonten. Die höheren Anteile an säurelöslichem organischen Eisen beeinflußt weitgehend diese Verhältnisse. Das kommt besonders in den Profilen

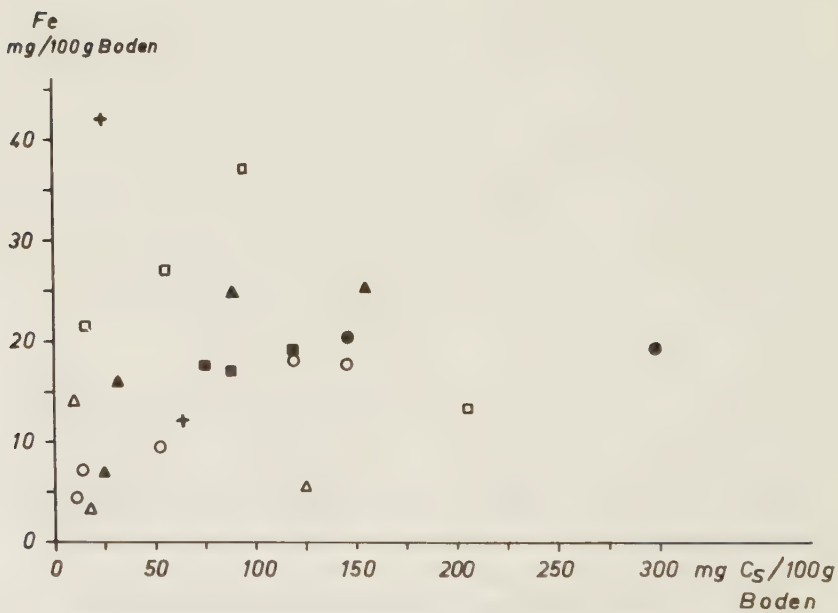


Abb. 20: Säurelösliche Nichthuminstoffe und Fulvosäuren (C₅)
und säurelösliches Eisen

Gröbner und Hangelstein I deutlich zum Ausdruck. Das bedeutet aber nicht, daß eine lösungsschemische Verlagerung ausgeschlossen ist. Als weitere Ursache für diese Erscheinung müssen die die Mobilisierung bzw. Immobilisierung beeinflussenden Faktoren berücksichtigt werden. Die in den Auflagehorizonten und in den humosen mineralbodenhorizonten gebildeten aktiven und mobilen niedermolekularen Verbindungen werden, sofern nicht ein hohes Angebot an leichtlöslichem anorganischen Eisen vorliegt und sofern die biologische Aktivität gering ist, unter den vorherrschenden hydrologischen Verhältnissen als Fe-freie bzw. Fe-arme Komplexe verlagert. Im Verlauf dieser abwärts gerichteten Verlagerung komplexieren sie weitere Sesquioxide und gehen in die immobile Phase über, die zu einer Anreicherung Fe-organischer Komplexe in tieferen Horizonten führt. Eine Adsorption in diese Horizonte verlagelter Fe-armer organischer Komplexe an bereits vorhandenen reaktionsfähigen Sesquioxiden unter partieller Transformation letzterer dürfte zu dem gleichen Ergebnis führen. Wenn auch wegen der z.T. stark sauren Bodenreaktion die biologische Aktivität stark eingeschränkt sein dürfte, kann auch eine geringe Aktivität in den Unterböden über die Oxidation des organischen Liganden (Biodegradation nach DOMMERGUES und DUCHAUFOR, 1965) zu einer Anreicherung Fe-organischer Verbindungen mit hohem Fe-Gehalt führen; dabei kann die Immobilisierung bei umso geringerer biologischer Aktivität erfolgen, je höher der Fe-Gehalt der noch mobilen Komplexe ist.

Um den Einfluß der organischen Substanz auf die Verlagerung bzw. die Mobilität von NaOH-löslichem Aluminium zu deuten, wurde das freie Aluminiumoxid den verschiedenen organischen Verbindungen gegenübergestellt (Tab. 28; Abb. 21,22). Nur im Profil Schiffenberg besteht eine positive Korrelation zwischen den verschiedenen organischen Verbindungen und dem Aluminiumoxid. In dem Profil Hangelstein II ist die Beziehung zwischen säurelöslichen Nichthuminstoffen und Fulvo-

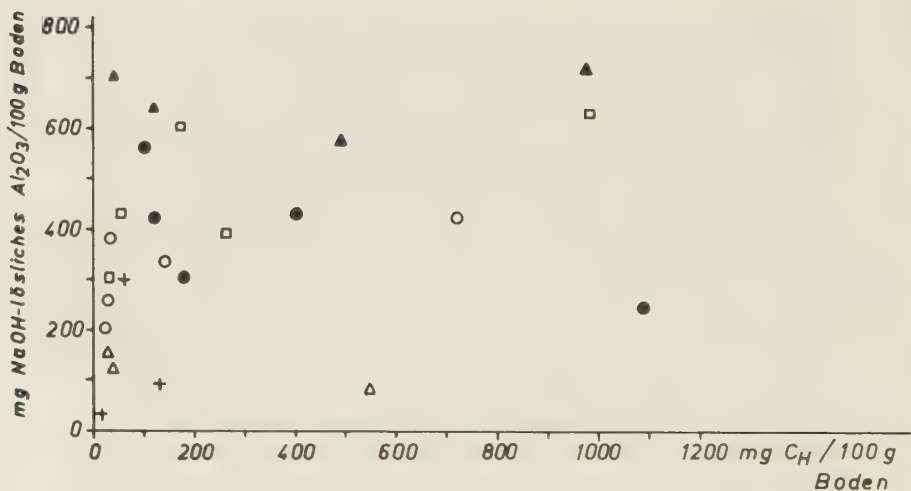


Abb. 21: Gesamtfulvosäuren und NaOH-lösliches Al_2O_3

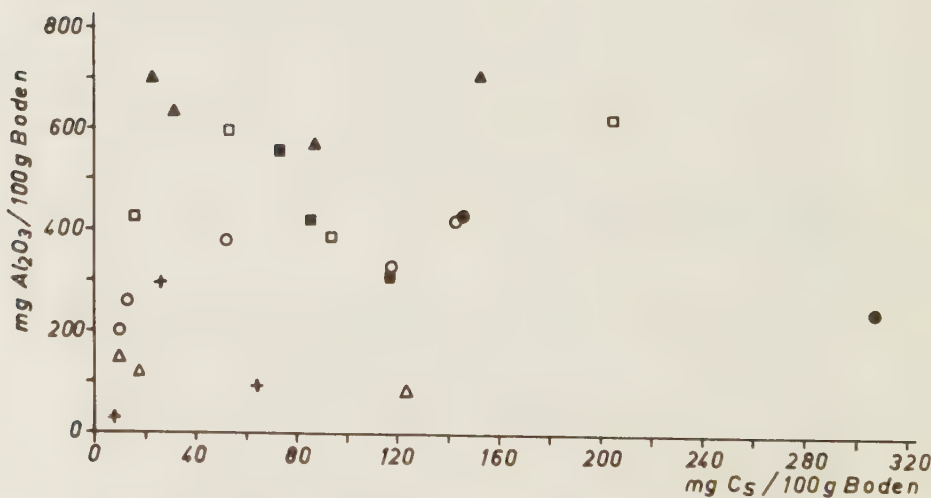


Abb. 22: Säurelösliche Nichthuminstoffe und Fulvosäuren (C_S) und NaOH-lösliches Al_2O_3

säuren (C_s) und dem Gehalt an Aluminiumoxid negativ; mit Zunahme der organischen Verbindungen nimmt der Gehalt an Aluminiumoxid ab. Bei den anderen Profilen konnten keine Beziehungen ermittelt werden. Die Ursache ist einerseits die unterschiedliche Löslichkeit der Al-Verbindungen in den verschiedenen Horizonten, andererseits wird bei der Extraktion von Aluminiumoxid mittels 0,5 n NaOH neben organisch gebundenem Aluminium auch ein mehr oder weniger großer Teil anorganisch gebundenes Aluminium erfaßt.

Tabelle 28: Beziehungen zwischen verschiedenen organischen Verbindungen (x) und NaOH-löslichem Aluminiumoxid (y)

Profil		r	P	$y = a + b \cdot x$
Schiffenberg (n = 5)	C_s	+ 0,8354	5	$0,229 + 0,0015 x$
	C_F	+ 0,8431	5	$0,258 + 0,0002 x$
	C_H	+ 0,8218	5	$0,275 + 0,0003 x$
	C_{ex}	+ 0,8396	5	$0,265 + 0,0001 x$
	C_t	+ 0,8222	5	$0,255 + 0,00008 x$
Hangelstein II (n = 3)	C_s	- 0,9521	5	$0,924 - 0,005$

In Abb. 23 sind die säurelöslichen Nichthuminstoffe und Fulvosäuren (C_s) und das säurelösliche Aluminiumoxid gegenübergestellt. Mit zunehmenden Gehalten an säurelöslichem Kohlenstoff nimmt auch der Gehalt an Aluminiumoxid zu. Abgesehen vom Profil Ilbenstadt sind die Beziehungen beider Größen zueinander in den Profilen Am Gießener Stadtwald und Schiffenberg und bei Verrechnung aller Horizonte innerhalb einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 % gesichert (Tab. 29). Wegen der ungenügenden Probezahlen in den Profilen Daubringen und Hangelstein I (je Profil nur zwei

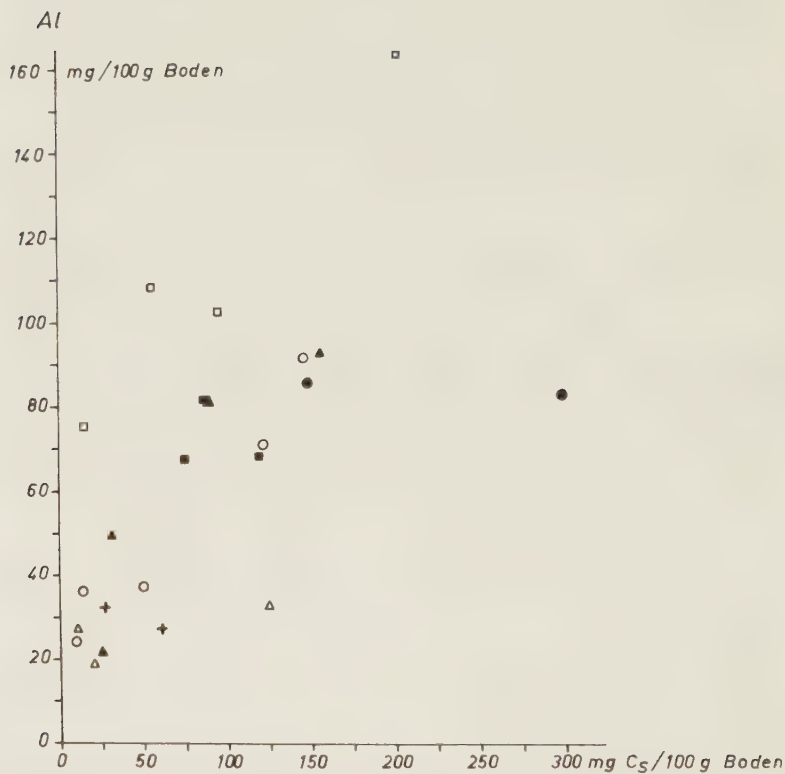


Abb. 23: Säurelösliche Nichthuminstoffe und Fulvosäuren (C_S) und säurelösliches Aluminium

Horizonte) ist die Korrelationsrechnung in den beiden Profilen nicht möglich. Bei den Profilen Gröbner und Hangelstein II ist die Beziehung statistisch nicht gesichert.

Tabelle 29: Beziehungen zwischen 0,05 n H_2SO_4 -löslichen Nichthuminstoffen und Fulvosäuren (x) und 0,05 n H_2SO_4 -löslichem Aluminiumoxid (y).

Profil	r	n	P	y = a + b · x
Gesamt ^{*)}	+ 0,6339	23	1	= + 69,266 + 0,599 x
Am Gießener Stadtwald ^{*)}	+ 0,9672	4	1	= + 135,391 + 0,823 x
Schiffenberg ^{*)}	+ 0,9711	5	1	= + 42,057 + 0,831 x
Ilbenstadt ^{*)}	+ 0,9100	4	5	= + 34,934 + 0,937 x

^{*)} ohne O-Horizont

Aus dem Schnittpunkt der Regressionsgraden mit der y-Achse (säurelösliches Aluminiumoxid) und dem Mittelwert des säurelöslichen Aluminiumoxids ist abzuleiten, daß, bei Verrechnung aller Horizonte, etwa 58 % nicht an säurelösliche Nichthuminstoffe und Fulvosäuren gebunden sind. Diese Anteile betragen in den Profilen Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt 64, 43 und 52 %. Der Gehalt an Aluminiumoxid ist höher als der des säurelöslichen Kohlenstoffes. Auch daraus ist zu ersehen, daß mittels 0,05 n H_2SO_4 neben an löslichem Kohlenstoff komplex gebundenem Aluminium auch ein großer Teil anorganisches Aluminium gelöst wird. Bei den Profilen Gröbner und Hangelstein II dürfte dieser Anteil so unterschiedlich sein, daß keine Beziehungen zwischen beiden Größen bestehen.

Bei der Deutung dieser Werte - und diese Aussagen haben auch für das Eisen Gültigkeit - muß aber berücksichtigt

werden, daß infolge der hohen Affinität der Wasserstoffionen zu den reaktiven Gruppen der organischen Liganden mit Verdrängungsreaktionen gerechnet werden muß, indem an nicht säureextrahierbaren Huminstoffen (z.B. Huminsäuren) gebundenes Aluminium durch H_2SO_4 aus diesen Bindungen freigesetzt und in die lösliche Fraktion überführt wird. Unter der Voraussetzung, daß diese Verdrängungsreaktion in allen Horizonten etwa gleich stark ausgeprägt ist, sind die Prozentteile für das Al anorganischer Verbindungen überhöht (Parallelverschiebung der Regressionsgraden in Richtung höherer Al-Gehalte). Die Tatsache, daß höhere Gehalte an säurelöslichen organischen Verbindungen mit höheren Huminsäuregehalten koindizieren, läßt dagegen die Vermutung gerechtfertigt erscheinen, daß der Regressionskoeffizient (b-Wert) zu hoch ist, d.h., daß der berechnete Anteil organisch gebundenen Aluminiums überhöht ist. Diese Ausführungen verdeutlichen die Problematik der Extraktion metallorganischer Verbindungen und die Berechnung des organisch gebundenen Metallanteiles.

Bemerkenswert ist ein Vergleich zwischen säurelöslichen organischen Verbindungen und Aluminiumoxid einerseits und säurelöslichen organischen Verbindungen und Eisenoxid. Während die Beziehungen zwischen den organischen Verbindungen und dem Eisen nur im Profil Schiffenberg statistisch gesichert sind (s.o.), ist dies bei Berücksichtigung des Aluminiums in den Profilen Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt, sowie bei gemeinsamer Verrechnung aller Horizonte der Fall. Diese Ergebnisse stimmen mit der Ansicht TJURIN's (zit. in KONONOWA, 1958) überein, daß die freien Fulvosäuren bevorzugt Salze und Komplexverbindungen mit Aluminium bilden. Auch WRIGHT und SCHNITZER (1963), BLOOMFIELD (1964) und DUCHAUFOUR und SOUCHIER (1965) berichten über die bevorzugte Bildung von Al-Fulvosäurekomplexen.

Mit Ausnahme der A_h - und G_r -Horizonte des Profils Schiffen-

berg sowie des IIB_t- bzw. B_{v2}-Horizontes der Profile Ilbenstadt und Hangelstein II steigen die Verhältnisse Aluminium zu Kohlenstoff ($\text{mg Al}_2\text{O}_3/100 \text{ mg C}$) wie beim Eisenoxid von oben nach unten an (Tab. 21).

Analog der Deutung der Verhältnisse Eisen zu organischen Verbindungen von ALEXANDROVA (1960) kann die Zunahme der Verhältnisse Aluminium zu organischen Verbindungen mit zunehmender Tiefe als pedogener Prozess der Al-Verlagerung im Sinne der Podsolierung gedeutet werden. Diese Deutung wird aber durch die schon erfolgten diesbezüglichen Ausführungen eingeschränkt. An dieser Stelle sei abschließend noch auf einen weiteren Faktor verwiesen. In den humosen Horizonten mit relativ hohen Huminsäuregehalten können diese anorganische Bodenkonstituenten umhüllen und somit die Lösung organisch gebundenen Aluminiums herabsetzen; daraus resultieren niedrige Verhältniswerte. Diese Einschränkungen gelten sinngemäß auch für das organisch gebundene Eisen.

Anschließend seien die den Komplexierungsgrad von Al und Fe (Al bzw. $\text{Fe}/100 \text{ mg C}$) beeinflussenden Faktoren wie folgt zusammengefaßt:

- 1) Durch $0,05 \text{ n H}_2\text{SO}_4$ werden neben organisch gebundenen auch anorganische Sesquioxide gelöst.
- 2) Verdrängung organisch gebundener Sesquioxide aus nicht in $0,05 \text{ n H}_2\text{SO}_4$ extrahierbaren organischen Verbindungen (z.B. Huminsäuren).
- 3) Herabsetzung der Löslichkeit anorganische Fe und Al durch Blockierung der Oxide bzw. silikatischen Minerale durch nichtextrahierbare Huminsäuren besonders in den humosen Horizonten.
- 4) Vollständige bzw. partielle Oxydation des organischen Liganden zieht - neben der Immobilisierung der Komplexe - eine Erhöhung des Komplexierungsgrades nach sich, vorausgesetzt, daß die Alterung der Sesquioxide nach

ihrer Freisetzung aus den organischen Bindungen unterbunden bzw. gehemmt ist. Eine Alterungshemmung dürfte vor allem bei partieller Oxydation zu erwarten sein.

7. Diskussion

Die in vorliegender Arbeit untersuchten und beschriebenen, mit einer Ausnahme im Raum Gießen gelegenen Böden spiegeln in ihrem Entwicklungszustand, sichtbar an den morphologischen Merkmalen, die Dominanz der Lithofunktion wider. Sie sind aus folgenden geologischen Substraten hervorgegangen:

- a) Quarzit (verfestigte unteroligozäne Sande); (Profil Daubringen).
- b) Mitteloligozäne Meeressande; (Profile Gröbner, Hangelstein I und Am Gießener Stadtwald).
- c) Oberoligozäne Sande und Tone, (Gail'sche Serie); (Profil Schiffenberg).
- d) Mittelpleistozäne Schotter der Lahnterrasse; (Profil Hangelstein II).
- e) Löss auf jungmiozänen Sanden; (Profil Ilbenstadt).

Die durchschnittlichen jährlichen Niederschläge der einzelnen Standorte betragen zwischen 568 und 643 mm, die durchschnittliche Jahrestemperatur zwischen 7,8 und 9°C.

Die Profile Daubringen und Am Gießener Stadtwald liegen unter Mischwald (Eiche, Fichte und Buche b.w. Eiche, Kiefer und Buche), die Profile Hangelstein I, Schiffenberg und Ilbenstadt unter Nadelwald und die Profile Gröbner und Hangelstein II unter Grasvegetation.

Aus den Untersuchungsergebnissen sind Entwicklungstendenzen abzuleiten, die sich, neben dem geologischen Substrat, vor allem aus der Humusdynamik ergeben.

Die verschiedenen Formen der Vegetation sind das Produkt der Wechselbeziehungen Klima, geologisches Substrat und Boden, wobei der Faktor Klima die Hauptrolle spielt. Die Bedeutung der Vegetation für die Bodenbildung und Bodenentwicklung besteht in der Bildung unterschiedlicher Humusformen, wobei die biologische Aktivität eine wichtige Rolle spielt, die aber in hohem Maße von den anderen Faktoren der Bodenent-

wicklung beeinflußt wird. Die die Humusdynamik beeinflussen-
den Faktoren sind somit die basenarmen und ligninreichen
Streustoffe, die z.T. nur geringe Durchwurzelung und - im
Falle der sandigen Substrate - die Durchlässigkeit.

Wegen der ungünstigen organischen Ausgangsstoffe (Bestandes-
abfall von Fichten, Kiefern, Eichen und Buchen) einerseits
und der Basenarmut der Ausgangsgesteine andererseits hat
sich eine Humusaufgabe von unterschiedlicher Mächtigkeit
auf den Profilen Daubringen, Hangelstein I, Am Gießener
Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt entwickelt, die
durch besonders geringe biologische Aktivität gekennzeich-
net ist. Die Humusform dieser Profile ist auf Grund morpho-
logischer und chemischer Eigenschaften (geringer Zerset-
zungsgrad, höherer Gehalt an organischer Substanz sowohl im
O- als auch im A_h -Horizont, niedriger pH-Wert (3,4 - 4,1
(KCl)) und ein weites C/N-Verhältnis (zwischen 15 und 48))
als Silikat- bzw. Schlechtmoor (KOHL, 1965) anzusprechen.
Bei den unter lockerer Grasvegetation liegenden Profilen
(Gröbner und Hangelstein II) wurde keine Humusaufgabe aus-
gebildet.

Deutliche Unterschiede in den Humusgehalten bestehen in den
A-Horizonten (Abb. 7). Die Profile Gröbner und Hangelstein II
besitzen einen niedrigen Humusgehalt als die unter Wald lie-
genden Profile, da einerseits die Bestandabfälle (Gras) einer
schnelleren Um- bzw. Zersetzung unterliegen, andererseits
das Edaphon dieser Standorte nur mäßig ausgebildet ist (schüt-
tere Grasvegetation). Die Umsetzung erfolgt wegen des Feh-
lens von Bodentieren nur in der obersten Mineralbodenschicht.
Der geringe Gehalt an organischer Substanz im A-Horizont des
Profils Hangelstein I ist auf die junge Bodenbildung zurück-
zuführen; er resultiert bei sehr schwacher Durchwurzelung vor
allem aus der Einwaschung leichtlöslicher organischer Verbind-
ungen des Auflagehorizontes.

Die exogenen und endogenen Faktoren äußern sich ferner in der Huminstoff-Zusammensetzung. Zwischen 24 und 86 Prozent des Gesamtkohlenstoffgehaltes entfallen auf freie und an mobile hydratisierte Sesquioxide gebundene Huminstoffe (nach KONONOVA, 1956, löslich in NaOH-Na-Pyrophosphat). Das Maximum an Huminsäuren und Fulvosäuren dieser Fraktion befindet sich im A_h -Horizont des Profils Schiffenberg (723 bzw. 1680 mg/100 g Boden), das Minimum in dem Zwischenband 1 des Profils Hangelstein I bzw. in dem IIC-Horizont des Profils Ilbenstadt (7,9 bzw. 8,3 mg/100 g Boden). In allen Profilen überwiegen die Fulvosäuren gegenüber den Huminsäuren (C_H/C_F zwischen 0,21 und 0,73). Die Dominanz der Fulvosäuren ist auf die überwiegend abiologische Humifizierung als Folge der schwachen biologischen Aktivität zurückzuführen, woraus eine geringe Polymerisationsneigung der niedermolekularen Huminstoffe resultiert (KONONOVA, 1958; DUCHAUFOR und JACQUIN, 1959; SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1966). Der Gehalt an Fulvosäuren kann ferner zusätzlich durch Einwaschung aus der Humusaufgabe erhöht werden. Es kann aber auch mit dem Abbau von Huminsäuren zu Fulvosäuren bei höherer Säurekonzentration und längerer Entwicklungsdauer gerechnet werden (SCHEFFER und ULRICH, 1960).

Der Gehalt an NaOH-löslicher Kieselsäure ist, abgesehen von dem A_h - und A_l -Horizont des Profils Ilbenstadt, im Vergleich mit den von SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) sowie von SATTAR (1967) angegebenen Werten für Podsol-Braunerde bzw. Parabraunerde aus Löß, niedrig. Die Ursache dieser Abweichung kann auf den niedrigen Gehalt freier (= amorph) Kieselsäure des geologischen Substrates der Profile Daubringen, Gröbner, Hangelstein I, Am Gießener Stadtwald und Schiffenberg (tertiäre Sande bzw. Sand-Ton-Schichtserie) zurückgeführt werden, zumal der Gehalt an silikatischen Mineralen als Ursprung der amorphen Kieselsäure in diesen Substraten sehr gering ist. Ferner ist zu berücksichtigen, daß infolge der in dem basenarmen Milieu intensiven Hydrolyse die im Sedi-

ment eingelagerten silikatischen Minerale bereits zu einem großen Teil desilifiziert sein dürften (ACQUAYE und TINSLEY, 1965) unter Bildung nicht-NaOH-löslichen Quarzes bzw. Auswaschung der Kieselsäure. Diese Befunde stimmen mit den von BECKWITH und REEVE (1964) mitgeteilten überein.

Der im Vergleich zu den Unterböden etwas höhere Gehalt an NaOH-löslicher Kieselsäure in den oberen Horizonten der Profile Daubringen, Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt kann auf der höheren Verwitterungsintensität im Oberboden (SCHROEDER, 1954; SCHACHTSCHABEL und KÖSTER, 1959) und/oder auf der biologischen Akkumulation (KUNDLER, 1961) bzw. auf der Anreicherung von Bioopal (SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN, 1967) beruhen. In den Profilen Gröbner, Hangelstein I und II läßt die Tiefenfunktion auf eine schwache Verlagerung amorpher Kieselsäure, wie sie für die Podsolierung typisch ist (ACQUAYE und TINSLEY, 1965) schließen.

Im folgenden werden die wichtigsten genetischen Merkmale herausgestellt. Hierzu zählen vor allem die mobilen Nicht-humin- und Huminstoffe und die anorganischen kolloidalen Substanzen (Ton und Sesquioxide).

Das Profil Daubringen hat sich aus schwerverwitterbarem Quarzit entwickelt; dementsprechend ist die Mächtigkeit des Solums gering. Das geologische Substrat kann im Bereich des Solums hinsichtlich der Kornzusammensetzung als homogen angesprochen werden. Im Vergleich zum A_{he} -Horizont hat der B_{sv} -Horizont einen etwas höheren Gehalt an gesamtfreien Al- und Fe-Oxiden sowie an Ton. Diese Ergebnisse stimmen mit den von MÜCKENHAUSEN (1962) sowie SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) für Podsol-Braunerden angeführten Befunden überein. Durch die intensive Verwitterung im A-Horizont ist neben der Freisetzung von Al, Fe und Si aus primären Silikaten auch die Zersetzung von Ton zu vermuten. Der Prozess der Podsolierung ist zwar allgemein an höhere Niederschläge und intensivere Durchfeuchtung gebunden, wegen der ausgesprochenen Basenarmut und der höheren Durchlässigkeit des Solums

kann dieser auch unter weniger humiden Bedingungen ablaufen. Der Gesamtgehalt des Profils beträgt zwischen 1,2 (A_{he}) und 1,5 % (B_{sv}), von denen 58 % bzw. 63 % als freies Eisen vorliegen. Das freie Eisenoxid nimmt sowohl absolut als auch relativ vom A_{he} - zum B_{sv} -Horizont zu. Die absoluten Gehalte an amorphen Eisenoxid bewegen sich zwischen 462 (A_{he}) und 363 (B_{sv}) mg/100 g Boden und machen 69 und 39 % des gesamtfreien Eisenoxides aus.

Das Gesamtaluminiumoxid ist im B_{sv} -Horizont (4,18 %) ebenfalls höher als im A_{he} -Horizont (3,18 %). Auch das nicht-silikatisch gebundene Aluminiumoxid nimmt absolut und im Verhältnis zum Gesamtgehalt (8 bzw. 10 %) vom A_{he} - zum B_{sv} -Horizont zu.

Eine Verlagerung der Gesamtfulvosäuren kann, ihren relativen Werten zufolge, nur in sehr geringem Umfang stattgefunden haben. Ihr Anteil am gesamten Kohlenstoff beträgt im A_{he} -Horizont 43 % und im B_{sv} -Horizont 41 %. Die Verlagerung der Huminsäuren ist wegen ihres höheren Polymerisationsgrades und der Abnahme der Hydrophilie und der darauf beruhenden Zunahme der Flockungsempfänglichkeit geringer als die der Fulvosäuren. Demgegenüber muß mit einer stärkeren Verlagerung leichtlöslicher organischer Komponenten (in verdünnter Schwefelsäure lösliche Nichthuminstoffe und Fulvosäuren) gerechnet werden; die relativen Werte nehmen vom A_{he} - zum B_{sv} -Horizont zu (12 bzw. 15 % des gesamten Kohlenstoffes).

Der Fe_2O_3 - bzw. Al_2O_3 -Gehalt dieser Fraktion ist in dem B_{sv} -Horizont mit 29 bzw. 162 mg/100 g Boden, entsprechend 8 bzw. 38 % des amorphen Eisenoxides bzw. des freien Aluminiumoxides höher als im A_{he} -Horizont (28 bzw. 156 mg/100 g Boden). Die starke Zunahme der Fe/C und Al/C-Verhältnisse vom A_{he} - zum B_{sv} -Horizont deutet nach ALEXANDROVA (1960) auf eine Verlagerung Fe- bzw. Al- organische Verbindungen hin, wobei der Komplexierungsgrad des Aluminiums (53 bzw.

111 mg Al_2O_3 /100 mg C) höher ist als der des Eisens (10 bzw. 20 mg Fe_2O_3 /100 mg C). Als Grund dafür könnte die Verdrängung des Eisens durch Aluminium aus den organischen Austauschern angesehen werden. SCHNITZER (1959) konnte nachweisen, daß von niedermolekularen organischen Verbindungen komplexiertes Eisen relativ leicht von an Austauschern sorbiertem Wasserstoff, Aluminium sowie Ca und Mg verdrängt wird. DUCHAUFOUR und SOUCHIER (1965) sowie TAN (1966) haben nachgewiesen, daß in Podsolen Fulvosäuren bevorzugt Aluminium binden.

Die Tiefenfunktion der organischen Substanz und der freien Oxide lassen es gerechtfertigt erscheinen, dieses Profil als Podsol-Braunerde einzustufen, wobei der Grad der Podsolierung gering ist; morphologisch ist keine Sesquioxidanreicherung und Huminstoffeinwaschung in dem B-Horizont zu erkennen.

Das Profil Am Gießener Stadtwald ist aus mitteloligozänem Meeressand hervorgegangen. Auch in diesem Profil ist der Homogenitätsnachweis positiv (SCHLICHTING und BLUME, 1961). Bei der Verwitterung erfolgt eine Verschiebung der Kornzusammensetzung, die in diesem Profil die Ton- ($< 2\mu$), Fein- und Mittelschlufffraktion ($2 - 20\mu$) erfaßt. Die Korngrößenverhältnisse der übrigen Fraktionen bleiben, infolge der höheren Verwitterungsresistenz der gröberen Fraktionen (Quarz), annähernd unverändert. Die obengenannten Fraktionen nehmen vom A_h - bis zum B_{v2} -Horizont geringfügig zu.

Der Gehalt an Gesamteisen ist im B_{v2} am höchsten (1,8 %); auch das freie Eisenoxid liegt in diesem im Maximum. Die Tiefenfunktionen des gesamtfreien und kristallinen sowie des Tons sind vergleichbar. Die Beziehung zwischen gesamtfreiem bzw. kristallinem Eisen und dem Ton ist hochsignifikant positiv gesichert ($r = + 0,9485$ bzw. $+ 0,9877$; $n = 5$); vermutlich wurde das Eisen mit dem Ton als Ton-Eisenkomplex verlagert. Weiterhin kann die Anreicherung des freien Eisens

im B_{v2} -Horizont auf die intensivere Verwitterung in diesem Horizont und somit stärkere Tonbildung unter Eisenfreisetzung zurückgeführt werden. Das amorphe Eisenoxid ist in diesem Profil stark vertreten (60 - 415 mg/100 g Boden) und nimmt mit zunehmender Tiefe ab. Die Aktivitätsgrade sind in den oberen Horizonten höher als 0,6 und nehmen ebenfalls mit der Tiefe ab; sie entsprechen den von McKEAGUE et al. (1966) für saure Braunerden angeführten Werten. Der Gesamtaluminiumgehalt nimmt, wie der des Gesamteisens, vom A_h - zum B_{v2} -Horizont zu. Das freie Aluminiumoxid steigt vom B_{v1} - zum B_{v2} -Horizont an, ohne jedoch den Wert des A_h -Horizontes zu erreichen, der in diesem Horizont sowohl auf die Aluminiumfreisetzung durch die intensive Verwitterung als auch auf die Akkumulation von organischer Substanz zurückzuführen ist (HARRIS, 1961). Ein Teil des bei der Verwitterung freigesetzten Aluminiums ist vermutlich im B_{v2} -Horizont durch die Tonneubildung in die gebundene Form transformiert worden, so daß sein Anteil vermindert wird.

Von dem gesamten Kohlenstoff entfallen zwischen 15 und 23 % auf die Huminsäurefraktion. Da die relativen Gehalte (in % des Gesamtkohlenstoffes) mit der Tiefe zunehmen, ist eine Verlagerung der Huminsäuren nicht ausgeschlossen, von der jedoch die Fulvosäuren in stärkerem Umfang erfaßt werden. Eine Anreicherung dieser Fraktion hat, den relativen C-Gehalten zufolge, im B_{v2} -Horizont stattgefunden. Die Ursache dafür kann entweder in der verminderten Polymerisation der Fulvosäuren in dem relativ feuchten und dichten B_{v2} -Horizont oder in der gehemmten Sickerwasserbewegung dieses Horizontes zu suchen sein. SHAMMOOT (1965) hat festgestellt, daß die Mobilität der organischen Substanz auf die Wasserbewegung im gesättigten bzw. nichtgesättigten Zustand besser zurückzuführen sei als durch Komplex- oder Chelatbildung mit Sesquioxiden. Die den B_{v2} -Horizont durchwandernden Fulvosäuren werden im C-Horizont polymerisiert (Zunahme des Huminsäure-Anteils). Der höchste absolute Ge-

hält an säurelöslichen Nichthuminstoffen und Fulvosäuren ($0,05 \text{ n H}_2\text{SO}_4$) ist im A_h -Horizont festzustellen. Ihr Anteil am Gesamtkohlenstoff nimmt aber vom A_h -Horizont (8,6 %) zum B_{v2} -Horizont (16,2 %) zu, was auf eine Verlagerung dieser äußerst aktiven und mobilen Fraktion hindeutet.

Das säurelösliche Eisen ist im B_{v1} -Horizont angereichert. Der Anteil dieser Fraktion am Gesamteisen ist sehr gering (zwischen 1 und 4 %). Aus den relativen Anteilen am amorphen Eisen ist zu folgern, daß im B_{v1} -Horizont infolge lösungsschemischer Verlagerung säurelösliches Eisen akkumuliert wurde (in Prozent des amorphen Eisens: $A_h = 5$, $B_{v1} = 16$). Das Maximum des absoluten säurelöslichen Aluminiums liegt dagegen im A_h -Horizont. Die Beziehungen zwischen säurelöslichen organischen Verbindungen und dem Aluminium dieser Fraktion sind hochsignifikant positiv gesichert ($r = + 0,9672$; $n = 4$), jedoch nicht die mit Eisen. Auch der relative Gehalt (in Prozent des Gesamt- bzw. NaOH-löslichen Aluminiums) spricht gegen eine lösungsschemische Verlagerung von Aluminium in komplexer Bindung mit aggressiven Fulvosäuren. Die Zunahme der Komplexbierungsgrade des Eisens und des Aluminiums in Richtung des geologischen Substrates ist somit in erster Linie auf die relativ stärkere Abnahme der schwefelsäurelöslichen organischen Substanzen zurückzuführen.

Die Akkumulation des gesamten freien Eisens und die des Tones im B_{v2} -Horizont ist somit auf die Tonneubildung und Fe-Freisetzung in situ und die Verlagerung von Ton und Eisen zurückzuführen. Eine Tonverlagerung erscheint aber unter den Reaktionsbedingungen dieses Profils ($\text{pH (KCl)} = 3,7 - 4,4$) unwahrscheinlich, weil der stets hohe Gehalt an austauschbarem Aluminium die Tonminerale flockt (KUNDLER, 1962). Außerdem wird die Peptisation der Tonminerale durch Blockierung ihrer Zwischenschichträume mit hydratisierten Al-Ionen vermindert (SCHEFFER, MEYER und FÖLSTER, 1961). Vermutlich übt die organische Substanz jedoch einen positiven Einfluß auf die

Tonverlagerung aus, indem sie die koagulierend wirkenden mehrwertigen Kationen (Al- und Fe-Ionen) komplexiert, wodurch die Peptisationsneigung des Tones erhöht wird (BARSHAD, 1964). Der gleiche Effekt, dh. Zunahme der Peptisationsneigung der Tonsubstanz, kann auch durch die Adsorption niedermolekularer organischer Verbindungen an Tonmineralen und Sesquioxiden hervorgerufen werden, wobei im Fall der Tonminerale Sesquioxide als Brücken fungieren dürften ("Ton - Sesquioxid - Humus - Komplexe"). Die Bildung dieser Komplexe kann auf Grund des relativ hohen Gehaltes an aktivem Eisen angenommen werden.

Der Bodentyp dieses Profils kann auf Grund oben angeführter Merkmale als Braunerde geringer Sättigung mit sehr schwachen Podsolierungsmerkmalen und vermutlich geringer Tonverlagerung bezeichnet werden.

Im Gegensatz zu dem geologischen Substrat des Profiles Am Gießener Stadtwald ist das der Profile Gröbner und Hangelstein I inhomogen; der mitteloligozäne Meeressand ist gebändert. Im Vergleich zu dem Profil Am Gießener Stadtwald überwiegt Feinsand gegenüber Grobsand sowie der Grobschluff gegenüber dem Fein- und Mittelschluff. Der Gehalt an Fein- und Mittelschluff ist mit 0,08 bis 7,55 % niedriger als der des Tones (0,35 bis 11 %). Die Bänder sind im allgemeinen ton- und sesquioxidreicher als die dazwischenliegenden Horizonte (Zwischenbandhorizonte); infolgedessen besitzen sie höhere Kationenaustauschkapazität.

In den folgenden Ausführungen werden die auf Beobachtungen und Untersuchungen verschiedener Autoren basierenden Theorien der Bänderbildung in äolischen und fluviatilen Sedimenten besprochen (SCHOTTLER, 1913; KUBIENE, 1936; FOLKS und RIECKEN, 1956; TÜXEN, 1957; WURMAN und WHITESIDE, 1959; ROBINSON und RICH, 1960; PAAS, 1961; KUNDLER, 1962; BECKER, 1965; COEN und PAWLUK, 1966 u.a.). Über den Bildungsmechanismus dieser Bänder gehen die Ansichten teilweise weit auseinander.

Nach KUBIENA (1936; zit. in BECKER, 1965) setzt das Ingangkommen der Bodenbildung einen "mit Lösung erfüllten Bodenkörper von gleichmäßig leitendem Gefüge" voraus. Ausgelöst wird dann der "innere Ausbildungsvorgang" durch die Schaffung einer übersättigten Lösung an der obersten Grenzschicht des Bodens infolge einer allmählich nach unten fortschreitenden Austrocknung des Substrates. Durch Verdunstung des Lösungsmittels im Boden entsteht ein Kapillarzug zu der Anreicherungsfläche hin, wodurch auch aus unterlagernden Schichten Lösung hochgesaugt wird. Dies führt in den tieferen Schichten zur Ausbildung einer Verarmungszone. Durchfortschreitende Verdunstung trocknet die Verarmungszone schließlich aus, so daß der Kapillarsaum abreißt. Unterhalb dieser Verarmungszone kommt es dann erneut zur Ausbildung einer solchen Anreicherungszone.

FOLKS und RIECKEN (1956) sowie WURMAN et al. (1959) beobachteten Bänder pedogenetischen und geologischen Ursprungs.

FOLKS und RIECKEN (1956) haben nachgewiesen, daß die Bänder neben höheren Tongehalten auch mehr oxalatlösliches Eisen enthalten. Sie versuchten die Entstehung dieser Bänder in Modellversuchen mittels Perkolation stark verdünnter Oxalsäurelösungen durch Bodenmaterial der Bänderzone zu klären. Nach etwa 8 Tagen zeigte sich in einer Tiefe von 75 - 86 cm eine deutliche Bänderung. Die Bänder waren nur wenige mm stark und offensichtlich zu gleicher Zeit entstanden. WURMAN et al. (1959) haben einen ähnlichen Versuch durchgeführt und beobachtet, daß die Bänderung nur in karbonatfreien, nicht jedoch in karbonathaltigen Sanden gebildet werden.

FOLKS et al. (1956) sowie WURMAN et al. (1959) haben an Hand ihrer Ergebnisse die periodische Niederschlagstheorie für die Bänderbildung aufgestellt. Danach werden Ton und Eisenoxid in den oberen Horizonten mobilisiert und in den Bändern abgelagert; die Bänderbildung ist somit ein pedogeneti-

scher Prozess.

Nach WURMAN et al. (1959) soll die Verlagerung von Eisen und Ton in die Anreicherungshorizonte durch folgende Prozesse stattgefunden haben:

- a) Ton und Eisenoxid wandern unabhängig voneinander ohne Beteiligung der organischen Substanz;
- b) Verlagerung organischer Eisenverbindungen ohne die Beteiligung von Ton.
- c) Verlagerung von Tonteilchen mit angelagertem freien Eisenoxid.
- d) Verlagerung der Gesamtkomplexe von Ton-Eisen und organischer Substanz.
- e) Diese Verlagerungsprozesse können unabhängig voneinander ablaufen oder aber auch in verschiedenen Kombinationen.

Die Differenzierung des ursprünglich als homogen anzusprechenden geologischen Substrates erfolgt somit nach diesen Autoren durch die Prozesse der Podsolierung und Lessivierung, wobei eine eindeutige Abgrenzung hinsichtlich des Schicksales der Tonminerale nicht möglich ist. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die lösungsschemische Verlagerung im Sinne der Podsolierung auch die Ursache einer Tonmineralneubildung im Anreicherungshorizont sein kann (BREBURDA, 1965; AKHTYRTSEV, 1966).

Die Eisenbänder in norddeutschen Sandgebieten sollen nach TÜXEN (1957) durch die Verlagerung gelösten Eisens unter Beteiligung organischer Substanzen als Schutzkolloid aus dem Oberboden in tieferen Schichten entstanden^{sein}. Als Folge der pH-Erhöhung in dem Unterboden kommt es zur Ausfällung der Fe-organischen Verbindungen geringer Mobilität bzw. Stabilität (Erreichen des Flockungsschwellenwertes infolge zusätzlicher Sorption koagulierend wirkender Erdalkalitionen), während die Verbindungen höherer Mobilität mit dem perkolierenden Sickerwasser in tiefere Schichten ver-

frachtet und immobilisiert werden, sobald die für die Flockung optimalen Parameter erreicht sind. Nach TÜXEN (1957) erfolgt somit die Bildung der untereinander angelegten Bänder zum gleichen Zeitpunkt.

PAAS (1961) sowie KUNDLER (1962) haben in einigen äolischen und fluviatilen Sedimenten am Niederrhein bzw. unter den B_V -Horizonten von Braunerden in Norddeutschland Bänder beobachtet und sind der Meinung, daß das Bändermaterial vorwiegend aus dem überlagernden verbrauchten B_V -Horizont stammt.

Aus Untersuchungen in Nordamerika schließen ROBINSON und RICH (1960) auf den geologischen Ursprung der Bänder, d.h. daß Sand und Ton zu verschiedenen Zeiten in Abhängigkeit von der jeweiligen Strömungsgeschwindigkeit sedimentierten. Einige chemische Gesichtspunkte für die Entstehung der Eisenbänder sprechen nach NEUMAN (zit. in ROBINSON et al, 1960) für die Verlagerung des Eisens in reduzierter Form bei schwankendem Grundwasserspiegel (Transport mit aufsteigendem Grundwasser; bei Fallen des Grundwasserspiegels Oxidation und Immobilisierung). DU MENT (zit. in COEN et al, 1966) führt aus, daß für die Ausbildung einiger Bänderböden Alaskas sowohl geologische als auch pedogene Prozesse verantwortlich sind.

Zur Erklärung der Bildung von Bänder-Profilen im nördlichen Oberrheintalgraben vertritt BECKER (1963) die Ansicht, daß das Initialstadium eines Tonanlagerungsvorganges in folgender Weise gedeutet werden könnte (wörtlich nach dem oben zitierten Autor):

1. Phase:

Durchfeuchtung des Substrates bis in verschiedene Tiefen (Sickerwasserfront). Die in der Bodenlösung dispergierte Tonsubstanz wird teilweise in tiefere Bereiche durchschlämmt und an Unstetigkeitsstellen abgesetzt.

2. Phase:

Verdunstung des Wassers in Oberflächennähe, dadurch allmählich Übersättigung der Bodenlösung. Beginnende Anlagerung hauchdünner Lösungsfilme an Kornoberflächen. Zwischen den Kornwinkeln Meniskenbildung.

3. Phase:

Wasser im obersten Bereich fast vollständig verdunstet, in Kornwinkeln vereinzelt schwache Brückenbildung. Nachsaugen von Lösung aus unterlagernden Schichten, weitere Anlagerungen.

4. Phase:

Kapillarsaum nach unten reißt ab. Wiederholung der Vorgänge 2 - 4 in einer tieferen Schicht.

Hinsichtlich der Bänderbildung in sandigen Substraten werden somit zwei gegensätzliche Theorien vertreten, die pedogenetische und die geologische; erste faßt die Bänder als Folge der pedogenetischen Prozesse Lessivierung und Podsolierung auf, letztere deutet die Bänder als geologische Erscheinung infolge einer Ablagerung durch Wind oder Wasser. Ferner ist, im Einwirkungsbereich pedogenetischer Faktoren, mit der Überprägung der durch Sedimentation gebildeten Bänder zu rechnen.

Die Ursachen der Bänderbildung können aus der Korngrößenverteilung innerhalb der Nichttonfraktion sowie den Feinsand/Grobsandverhältnissen abgeleitet werden. Bei ausschließlich pedogener Bildung infolge Kolloidverlagerung im Sinne der Lessivierung und Podsolierung müßten die Kornzusammensetzung der Nichttonfraktion sowie die $fS : gS$ - Verhältnisse im ganzen Profil annähernd vergleichbar sein, während bei sedimentärer Bänderbildung Unterschiede hinsichtlich dieser Größen zwischen dem Material der Bänder und dem der dazwischenliegenden Horizonte (Zwischenbandhorizonte) zu erwarten sind.

In dem Profil Gröbner liegen verschiedene Schichten vor, die sich morphologisch und hinsichtlich der Kornverteilung der Nichttonfraktion voneinander unterscheiden. Sie sind somit in erster Linie stratigraphisch bedingt, d.h. sie sind geologisch gebildet worden. Die kleinen Eisenbänder innerhalb der $(A_e B_g)^X$ -Schicht müssen pedogenen Ursprungs sein, da sie innerhalb dieser Schicht entwickelt worden sind. Profil Hangelstein I ist, der Kornzusammensetzung zufolge, ebenfalls mehrschichtig. Jede Schicht enthält, abgesehen von dem Tonband 1 und 2, ein Eisenband und einen Zwischenbandhorizont, deren $fS : gS$ - Verhältnisse vergleichbar sind. Diese Kornzusammensetzung unterscheidet sich von den der darauffliegenden Schichten. Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Schichten zu verschiedenen Zeiten abgelagert wurden und innerhalb jeder Schicht eine Sesquioxid- und Tonverlagerung erfolgte. Die Anreicherung von gesamtfreiem bzw. amorphem Eisenoxid sowie freiem Aluminiumoxid neben dem Ton in dem karbonatfreien Bodenmaterial der Bänder unterstützt die Verlagerungstheorie innerhalb der unterschiedlichen geologischen Schichten. Daher waren wahrscheinlich geologische und pedogene Prozesse für die Bänderbildung, d.h., sowohl die unterschiedlichen stratigraphischen Schichten innerhalb des Profils als auch pedogenetische Lessivierungs- und Podsolierungsprozesse innerhalb der Schichten für die Bänderbildung verantwortlich. Eine andere Möglichkeit besteht auch, daß Ton und Sesquioxide in situ in den Anreicherunshorizonten durch Verwitterung von Silikaten gebildet worden ist.

Die Verlagerung des Eisens und des Aluminiums kann entweder durch die Bewegung des Eisens und des Aluminiums als Sol oder in Form von Ton-Eisenkomplexen erfolgen.

Zur Nomenklatur der Bänderböden gibt es verschiedene Ansichten. Während FOLKS und RIECKEN (1956) die Zwischenbandhorizonte als A_e -Horizonte und die Bänder als B_{Fe} -Horizonte bezeichneten, ist BECKER (1965) der Meinung, daß sie als

A₁- und B_t-Horizonte bezeichnet werden können. COEN et al (1966) bezeichnet sie als A_{ej}- und B_t-Horizonte.

Da die Anreicherungs-horizonte ihrer Zusammensetzung zufolge überwiegend Ton - Sesquioxid - Bänder sind, werden sie in Anlehnung an FOLKS und RIECKEN (1956) mit dem Horizontsymbol B_s versehen.

In beiden Profilen hat in den oberen Horizonten eine rezente Sesquioxidverlagerung stattgefunden. Das amorphe Eisen ist in beiden Profilen nur gering vertreten (4 bis 153 mg/100 g Boden), da in tertiären Sanden das freie Eisen vorwiegend in hochkristallisierter Form auftritt. Aus demselben Grund weisen die Aktivitätsgrade niedrige Werte auf. Diese Ergebnisse weichen von den Befunden des Profils Am Gießener Stadtwald, ebenfalls gebildet aus mitteloligozänem Meeres-sand, ab; in diesem überwiegt der Gehalt an amorphem Eisen-oxid. Die Ursachen für diese Divergenzen können unterschiedlicher Natur sein. Die Bodenbildungen der Profile Gröbner und Hangelstein I sind sehr jung; die Verwitterung und Eisen-freisetzung hat noch kein großes Ausmaß erreicht. Unter dieser Voraussetzung muß die ^{Fe}Freisetzung in dem Profil Am Gießener Stadtwald von organischen Substanzen gefördert werden, die gleichzeitig die Kristallisation hemmen, da ein hohes Alter der Bodenbildung nicht zwangsläufig hohe Gehalte an amorphem Eisen bzw. hohe Aktivitätsgrade nach sich ziehen muß. Die organischen Substanzen fördern vermutlich auch die Transformation sedimentärer kristalliner Fe-Oxide in amorphe Verbindungen. Neben diesen Ursachen können auch höhere Gehalte an Fe-haltigen silikatischen Mineralen in dem Profil Am Gießener Stadtwald für die höheren Gehalte an amorphem Eisen verantwortlich sein. Da in dieser Richtung jedoch keine Untersuchungen angestellt wurden, können nur obige Vermutungen geäußert werden.

Der Anteil an amorphem Eisen in dem Eisenband 1 des Profils Hangelstein I bzw. B_s-Horizont des Profils Gröbner läßt auf

eine Verlagerung aus dem O- bzw. A_h-Horizont schließen. Auch die Aktivitätsgrade dieser Horizonte sprechen dafür.

Im Profil Hangelstein I sind zwischen 65 und 82 % des Gesamtkohlenstoffes extrahierbar, im Profil Gröbner dagegen nur 34 bis 55 %. Das erstgenannte Profil enthält eine Humusaufgabe, aus der mit einer Verlagerung leichtlöslicher organischer Verbindungen in das Solum gerechnet werden muß. Aus dem Anteil der Gesamtfulvosäuren an dem Gesamtkohlenstoff ist mit einer geringen Verlagerung in beiden Profilen zu rechnen, weil die Anteile annähernd konstant bleiben. Dagegen ist die Anreicherung von Huminsäuren, den relativen Anteilen zufolge, in dem Fe-Band 1 bzw. B_s-Horizont ausgeprägter. Die Ursache für diese Erscheinung kann auf die Polymerisation verlagerter Fulvosäuren zurückzuführen sein, jedoch ist eine Verlagerung von mobilen Huminsäuren nicht auszuschließen.

Die zwischen dem amorphen Eisen bzw. NaOH-löslichen Aluminium und verschiedenen organischen Fraktionen fehlenden Beziehungen deuten auf eine heterogene Verteilung organischer und anorganischer Sesquioxidverbindungen hin.

Von dem Gesamtkohlenstoff sind in den beiden Profilen zwischen 9 und 16 % in 0,05 n H₂SO₄ löslich. Da die relativen Gehalte in dem Eisenband 1 bzw. B_s-Horizont zunehmen, muß mit einer Anreicherung "aggressiver" Fulvosäuren infolge Einwaschung gerechnet werden.

Das Eisen und das Aluminium dieser Fraktion zeigen ebenfalls dieselbe Tiefenfunktion wie der relative Anteil an aggressiven Fulvosäuren und deuten auf eine gemeinsame Verlagerung und Akkumulation in dem Eisenband 1 bzw. im B_s-Horizont hin. Die Zunahme des Komplezierungsgrades des Eisens und des Aluminiums unterstützt ebenfalls diese Vermutung. Art und Ausmaß der Verteilung mobiler organischer Substanzen und der mobilen Sesquioxide in den Profilen Gröbner und Hangelstein I sind kennzeichnend für den pedogenen Prozess der Podsolie-

rung, dessen Ausmaß in dem Profil Gröbner gering ist und somit die Typenbezeichnung schwach pedsolisierte Braunerde rechtfertigt, während das Profil Hangelstein I auf Grund der stärker ausgeprägten podsoligen Merkmale als Podsol-Braunerde anzusprechen ist.

Die beträchtlichen Körnungsunterschiede zwischen den einzelnen Schichten der "Gail'schen Serie", Profil Schiffenberg, führten, unter den vorherrschenden klimatischen Bedingungen, zur Pseudovergleyung im oberen Profilabschnitt, während der hohe Grundwasserspiegel die Vergleyung im Bereich des unteren Profilabschnittes verursachte.

Die geringe Basensättigung des A_h - und S_w -Horizontes ist überwiegend lithogen bedingt, daraus resultiert die saure Bodenreaktion, die durch niedermolekulare organische Säuren, hervorgegangen aus den Bestandsabfällen, noch verstärkt wird. Sowohl der absolute Gehalt an Fulvosäuren als auch der relative Anteil (in % des Gesamt-C-Gehaltes) nimmt vom A_h -Horizont bis zum Unterboden stetig ab, was bedeutet, daß keine wesentliche Verlagerung dieser Fraktion stattgefunden hat.

Die Tiefenfunktionen des Gesamteisens bzw. Gesamtaluminiums weisen die gleiche Tendenz wie der Ton auf und nehmen bis zum S_d -Horizont zu. Die Anteile an silikatisch gebundenem Eisen und Aluminium (in % vom Gesamteisen bzw. Gesamtaluminium) nehmen zum S_d -Horizont sowohl wegen der abnehmenden Verwitterungsintensität als auch wegen des Substratwechsels mit der Tiefe zu. Das durch die intensive Verwitterung im A_h -Horizont freigesetzte Eisen und Aluminium ist in diesem Horizont angereichert und korreliert nicht mit dem Ton, da der tonreiche S_d -Horizont nicht durch rezente Tonverlagerung sondern durch die Ablagerung oberoligozäner Tone gebildet worden ist. Eine bis in den S_d -Horizont hineinreichende Oxidverlagerung ist auch auf Grund des ausgesprochen dichten S_d -Horizontes nicht zu erwarten. Durch die Grundwasserbewegung ist das freie Eisenoxid im G_o -Hori-

zont angereichert (HALLSWORTH und COSTIN, 1953; BLÜMEL, 1962; SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1966). Der absolute Gehalt an amorphem Eisenoxid nimmt vom A_h -Horizont zum Unterboden ab, der Anteil am gesamtfreien Eisen dagegen vom A_h - zum S_w -Horizont zu (Aktivitätsgrad im A_h -Horizont = 0,44, im S_w = 0,58). Als Ursache des hohen Aktivitätsgrades im S_w -Horizont dürfte weniger die organische Substanz als kristallisationshemmende Agenz, sondern die Durchfeuchtung, die ebenfalls der Kristallisation entgegenwirkt, verantwortlich sein (KURON et al., 1961).

Eine gesicherte positive Beziehung ist zwischen den Fulvosäuren bzw. Huminsäuren und amorphem Eisen bzw. NaOH-löslichem Aluminium festzustellen. Von dem amorphen Eisen sind auf Grund der Regression durchschnittlich 48 bzw. 34 % mit Gesamtfulvosäuren bzw. Huminsäuren assoziiert, die entsprechenden Werte für das Aluminium betragen 20 bzw. 14 %. Davon ist abzuleiten, daß von diesen beiden Sesquioxiden bevorzugt das Eisen an den Huminstoffen gebunden ist und daß die niedermolekularen Fraktionen in dieser Hinsicht effektiver sind als die höhermolekularen.

Die absoluten Gehalte an säurelöslicher organischer Substanz (Nichthuminstoffe und mobile Fulvosäuren) nehmen vom A_h -Horizont zur Tiefe stetig ab; die relativen Anteile (in % des Gesamtkohlenstoffes), im Gegensatz zu den Gesamtfulvosäuren, vom A_h -Horizont (5,2 %) zum S_d -Horizont (16,5 %) zu, was auf eine Immobilisierung infolge der gehemmten Sickerwasserbewegung im S_d -Horizont hindeutet. Der Staukörper übt somit eine Filterfunktion aus, der die Penetration höhermolekularer organischer Verbindungen verhindert, niedermolekulare Verbindungen jedoch eindringen läßt. Abgesehen vom S_d -Horizont weisen die absoluten Gehalte an säurelöslichem Eisen und Aluminium die gleiche Tiefenfunktion auf; sie nehmen vom A_h -Horizont zur Tiefe stetig ab. Die schwache Zunahme des Anteils des säurelöslichen Eisens an dem amorphen Eisen vom

A_h-Horizont (12 %) zum G_o-Horizont (17 %) ist nicht ausschließlich auf die lösungsschemische Verlagerung, sondern auch auf den Substratwechsel zurückzuführen. Die höhere H₂SO₄-Löslichkeit des amorphen Eisens in tieferen Horizonten hat nicht allein Fe-organischen Ursprung; auch das anorganische "amorphe Eisen" weist Unterschiede in der Löslichkeit auf.

Ebenfalls bedingt durch den Substratwechsel nimmt der Anteil des säurelöslichen Aluminiums an dem Gesamt- bzw. freien Aluminium vom A_h- zum S_d-Horizont ab, im G_o- und G_r-Horizont jedoch wieder zu. Die Beziehungen zwischen säurelöslichen organischen Substanzen, dem Eisen und dem Aluminium dieser Fraktion sind hochsignifikant positiv; durchschnittlich 36 bzw. 37 % des Eisens bzw. des Aluminiums sind an säurelösliche organische Verbindungen gebunden. Auf Grund des Komplexierungsgrades des Eisens und des Aluminiums kann mit einer Anreicherung Sesquioxid-organischer Verbindungen im G_o-Horizont gerechnet werden, wobei diese wahrscheinlich in diesem Horizont gebildet wurden.

Unter ähnlichen klimatischen Bedingungen ist - verglichen mit der Bodenbildung auf mitteloligozänem Meeressand - das Solum aus Schottern der Lahnterrasse (Profil Hangelstein II) reicher an Sesquioxiden; ferner sind der pH-Wert, die Kationenaustauschkapazität und die Basensättigung höher. Das geologische Substrat ist im Bereich des Solums homogen. Das Gesamteisen, Gesamtaluminium sowie das freie Eisen bzw. Aluminium und der Ton haben die gleiche Tiefenfunktion (Zunahme vom A_h- zum B_{v2}-Horizont). Die Beziehungen zwischen Ton und gesamtfreiem bzw. kristallinem Eisen und freiem Aluminium sind signifikant ($r = + 0,9947$; $+ 0,9927$ bzw. $+ 0,9196$; $n = 3$) und deuten somit auf eine gemeinsame Verlagerung hin, an der hauptsächlich das kristalline Eisenoxid beteiligt ist. Dagegen weisen das amorphe Eisenoxid und der Aktivitätsgrad vom A_h- zum B_{v2}-Horizont eine abnehmende Tendenz auf. Diese stetige Abnahme des amorphen Eisens und des Aktivitätsgrades

in Richtung des Ausgangsgesteines entspricht den für Braunerde von SCHLICHTING und BLUME (1962) sowie McKEAGUE (1966) mitgeteilten Befunden.

Die absoluten Werte der Gesamtfulvosäuren bzw. Huminsäuren nehmen vom A_h - zum B_{v2} -Horizont ab; die relativen Anteile (in % des Gesamt-C-Gehaltes) steigt dagegen an, was auf eine Verlagerung dieser beiden Fraktionen schließen läßt. Die Tiefenfunktionen beider Fraktionen stimmen mit der des amorphen Eisens überein. Die Beziehungen zwischen den Huminsäuren bzw. Fulvosäuren und amorphem Eisen ist hochsignifikant positiv gesichert. Aus den a - Werten der Regressionsgleichung und dem Mittelwert des amorphen Eisenoxides ist abzuleiten, daß 30 % bzw. 19 % des Eisens an Huminsäuren bzw. Fulvosäuren gebunden sind.

Die säurelöslichen Nichthuminstoffe und Fulvosäuren (C_s) sind im A_h -Horizont angereichert und nehmen vom A_h - zum B_{v2} -Horizont stetig ab; die relativen Anteile (in % des Gesamt-C-Gehaltes) nehmen dagegen von oben nach unten zu, was einer Verlagerung dieser Fraktion entspricht. Zwischen dieser organischen Fraktion und dem amorphem Eisen besteht eine gesicherte Beziehung; durchschnittlich 40 % des amorphen Eisens sind an diese Fraktion gebunden. Der Anteil ist somit wesentlich höher als bei den Huminsäuren und Fulvosäuren; das Komplexierungsvermögen dieser niedermolekularen organischen Fraktion, die sich vorwiegend aus Nichthuminstoffen zusammensetzt (Färbung der Extrakte schwach gelb bis farblos), ist weitaus höher als das der Fulvosäuren und der Huminsäuren. Diese Befunde werden durch präparativ-analytische Untersuchungen TJURIN's (zit. in KONONOVA, 1958) an gereinigten Huminstoffen bestätigt.

Die absoluten Gehalte an säurelöslichem Eisen sind im gesamten Solum annähernd konstant; ihr Anteil am amorphen Eisen ist im A_h -Horizont mit 6,7 % gering und nimmt mit der Tiefe zu ($B_{v2} = 7,9 \%$), was auf eine geringfügige lö-

sungsschemische Verlagerung des Eisens hindeutet. Der bis zum B_{v2} -Horizont zunehmende Komplexierungsgrad ($A_h = 22$; $B_{v2} = 34$) bestätigt diese Annahme. Dem absoluten Gehalt des säurelöslichen Aluminiums sowie dem Komplexierungsgrad zufolge muß mit einer Anreicherung im B_{v1} -Horizont gerechnet werden. Das Ergebnis deutet auf eine gegenüber den Fe-organischen Verbindungen geringere Verlagerung Al-organischer Verbindungen hin. Das Ergebnis der Pedogenese ist eine Braunerde mit sehr geringer Verlagerung kolloidaler Substanzen.

Die ausgeprägte Texturdifferenzierung des Profils Ilbenstadt (Zunahme des Tongehaltes im B-Horizont) weist eindeutig auf eine Tonverlagerung hin. Die starke Zunahme vom B_t - zum IIB_t -Horizont ist geologisch bedingt, eine Verlagerung vom B_t - zum IIB_t -Horizont ist jedoch nicht auszuschließen.

Auf Grund starker Entbasung infolge Perkolation organischer Säuren des Auflagehumus sind die beiden oberen Horizonte (A_h und A_1) basenungesättigt und reagieren infolgedessen sauer ($pH = 3$). Wegen der stark sauren Bodenreaktion dürfte keine Tonverlagerung mehr stattfinden (SCHEFFER und SCHACHT-SCHABEL, 1966).

Die engen Beziehungen zwischen Ton und gesamtfreiem bzw. kristallinem Eisenoxid ($r = + 0,8227$ bzw. $+ 0,9745$; $n = 5$) sprechen für eine gemeinsame Verlagerung des Eisenoxides mit dem Ton. Auch die Anreicherung des freien Aluminiumoxids in den B_t -Horizonten deutet auf eine gemeinsame Verlagerung mit dem Ton hin; obwohl keine gesicherte Beziehung zwischen diesen beiden Größen besteht. Die Anreicherung der Sesquioxide im B_t -Horizont von Parabraunerden wurde von verschiedenen Autoren (u.a. SCHLICHTING und BLUME, 1962; SATRAR, 1967) nachgewiesen.

Das amorphe Eisen nimmt mit zunehmender Tiefe ab, ebenfalls sein Anteil am gesamtfreien Eisen (Aktivitätsgrad), was be-

deutet, daß keine lösungsschemische Verlagerung des Eisens in diesem Profil stattgefunden hat. Diese Verteilung des amorphen Eisenoxids bzw. die Abnahme des Aktivitätsgrades in Richtung des geologischen Substrates entspricht der von SCHLICHTING und BLUME (1962) sowie von McKEAGUE et al (1966) in Parabraunerden nachgewiesenen. Die relativen Werte der Gesamtfulvosäuren sprechen für eine Anreicherung im B_t -Horizont (35,5 % des Gesamt-C-Gehaltes); dagegen ist bei den Huminsäuren, den relativen Werten zufolge, keine Verlagerung zu beobachten. Die Anreicherung mobiler Fulvosäuren im B_t -Horizont dürfte der Immobilisation infolge Adsorption an schon vorhandenen aktiven Sesquioxiden zugeschrieben werden. Die intensive Bindung an den Sesquioxiden und die saure Bodenreaktion müssen als polymerisationshemmende Faktoren angesehen werden. Auch in diesem Profil ist die rezente Tonverlagerung nicht auszuschließen, sofern die Tonminerale koagulierenden mehrwertigen Kationen von organischen Substanzen komplexiert werden (PREUSSE, 1969); das Ausmaß der rezenten Verlagerung dürfte jedoch gering sein.

Die H_2SO_4 -löslichen organischen Verbindungen sind absolut im A_h -Horizont anreichert und nehmen in Richtung des IIB_t -Horizontes ab; ihr Anteil an der gesamten organischen Substanz nimmt dagegen mit der Tiefe zu, was vorwiegend auf eine Verlagerung zurückzuführen ist, da unter den sauren Bedingungen die Biodegradation bzw. die Humifizierung im Oberboden nur in geringem Umfang möglich ist. Die Tiefenfunktionen des säurelöslichen Eisens und Aluminiums entsprechen denen des Kohlenstoffes (Abnahme mit zunehmender Tiefe), d.h., das Eisen und Aluminium ist an die organische Substanz gebunden. Eine gesicherte Beziehung besteht aber nur zwischen dem Aluminium und dem Kohlenstoff dieser Fraktion ($r = + 0,9100$; $n = 4$). Der Anteil des säurelöslichen Eisens an dem amorphen Eisen nimmt ebenfalls wie die absoluten Werte beider Fraktionen vom A_h (11 %) zum IIB_t -Horizont (6 %) ab. Die Korrelation zwischen beiden Größen ist

hochsignifikant. Die starke Zunahme der Komplexierungsgrade Fe- bzw. Al/C von dem A_h - (23 bzw. 112) zum B_t -Horizont (79 bzw. 522) ist hauptsächlich auf die im Verhältnis zu den Sesquioxiden stärkere Abnahme der säurelöslichen organischen Verbindungen zurückzuführen.

Auf Grund der Tiefenfunktion des Tones ist das Profil Ilbenstadt eine Parabraunerde; die Tendenz der lösungsschemischen Verlagerung mobiler Huminstoffe deutet eine Entwicklung in Richtung der Fahlerde an.

Wie aus obigen Ausführungen hervorgeht, haben sich unter den im Raum Gießen herrschenden klimatischen Bedingungen aus Quarzit, mitteloligozänem Meeressand und Lahnschotter unter Nadelwald und Grasvegetation Braunerden mit unterschiedlich ausgeprägten Merkmalen der Podsolierung und Lessivierung, nachweisbar an der Tiefenfunktion der entsprechenden leichtlöslichen und mobilen kolloidalen Substanzen, entwickelt.

8. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Bodenbildung aus tertiären Lockersedimenten, Schottern der Lahnterrasse und Löß im Raum Gießen bzw. Ilbenstadt unter den Bedingungen des gemäßigt humiden Klimas. Untersucht wurden sieben Profile: Daubringen (Quarzit unter Mischwald), Gröbner, Hangelstein I und Am Gießener Stadtwald (mitteloligozäner Meeressand unter Grasvegetation, Nadel- und Mischwald), Schiffenberg ("Gail'sche Serie" unter Nadelwald), Hangelstein II (Lahnschotter unter Grasvegetation) und Ilbenstadt (Löß unter Mischwald).

Abgesehen von der Ermittlung der Kenndaten (Bodenreaktion, Kornzusammensetzung, Kationenaustauschkapazität und sorbier-

te Kationen) wurden chemische Untersuchungen hinsichtlich der organischen Substanz und deren Zusammensetzung sowie der nichtsilikatisch gebundenen Oxide (Si, Al und Fe) durchgeführt und der Einfluß organischer Verbindungen auf die Verteilung der Oxide charakterisiert.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Wegen der Basenarmut (alle Profile sind mehr oder weniger stark versauert), einer dieser entsprechenden Zusammensetzung der Bestandabfälle und der aus diesen Faktoren resultierenden niedrigen biologischen Aktivität besitzen die unter Wald liegenden Profile Daubringen, Hangelstein I, Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt eine Humusauflage, die als Schlechtmoder zu bonitieren ist. Diese Auflage fehlt bei den unter Gras liegenden Profilen Daubringen und Hangelstein II wegen der etwas höheren biologischen Aktivität und dem geringeren Anfall an Streustoffen. Diese Vegetationsunterschiede äußern sich zwangsläufig in höheren Humusgehalten der Mineralbodenhorizonte, insbesondere der A-Horizonte, unter der Humusauflage. Eine Ausnahme bildet das Profil Hangelstein I; das geringe Alter (etwa 30 Jahre; Profilentwicklung auf der Sohle einer aufgelassenen Sandgrube) führte trotz des Auflagehorizontes zu einer nur mäßigen Humusanreicherung im A-Horizont, die zudem weniger auf die Durchwurzelung sondern mehr auf die Huminstoffeinwaschung zurückzuführen ist.

Die absoluten Gehalte an säurelöslichen Nichthuminstoffen und Fulvosäuren (0,05 n H_2SO_4 -löslich = Nichthuminstoffe und aggressive Fulvosäuren (C_s)) sowie Gesamtfulvosäuren und Huminsäuren (löslich in NaOH-Na-Pyrophosphat = freie, an mobile hydratisierte Sesquioxide und an Ca gebundene Huminstoffe; nicht säurefällbar = Fulvosäuren, C_F ; säurefällbar = Huminsäuren, C_H) sind in den O- bzw. A_h -Horizonten am höchsten und nehmen mit

der Tiefe, analog dem Gehalt an organischer Substanz, ab.

In der Fraktion der extrahierbaren Huminstoffe sind wegen des langsamen Humifizierungsprozesses als Folge der niedrigen biologischen Aktivität die Fulvosäuren stärker vertreten als die Huminsäuren. Der Anteil der an Huminsäuren gebundenen Fulvosäuren ($C_F - C_S$) ist höher als jener der säurelöslichen Nichthuminstoffe und mobilen Fulvosäuren. Die Tiefenfunktion der Fulvosäuren, ausgedrückt in Prozent des C_t -Gehaltes, läßt in den Profilen Gröbner, Am Gießener Stadtwald und Ilbenstadt auf eine Verlagerung schließen, die sich überwiegend auf Nichthuminstoffe und mobile Fulvosäuren erstrecken. In den Profilen Daubringen, Hangelstein I und II sowie Schiffenberg wurde keine wesentliche Verlagerung der Gesamtfulvosäuren (C_F) beobachtet, während Nichthuminstoffe und aggressive Fulvosäuren auch in diesen Profilen mit zunehmender Tiefe relativ zunehmen. Die Zunahme der Huminsäuren (in % des Gesamt-C-Gehaltes) in den Unterböden der Profile Gröbner, Hangelstein I und II sowie Am Gießener Stadtwald ist hauptsächlich auf die Polymerisation verlagerter niedermolekularer organischer Verbindungen (Fulvosäuren) zurückzuführen, doch ist eine Translokation niederpolymerer, in ihren Eigenschaften den Fulvosäuren nahestehenden Huminsäuren nicht auszuschließen.

2. Abgesehen von den Profilen Daubringen, Am Gießener Stadtwald und Hangelstein II ist das Ausgangsgestein im Bereich des Solums inhomogen. Mit Ausnahme der Profile Gröbner und Hangelstein I nimmt der Tongehalt vom A_h -Horizont zu den Unterböden in unterschiedlichem Ausmaß zu, was auf unterschiedliche Faktoren zurückzuführen ist. Während im Profil Ilbenstadt die Anreicherung im B_t -Horizont dem pedogenen Prozess der Lessivierung zu-

zuschreiben ist, dürfte sie im IIB_t-Horizont dieses Profiles sowie im S_d-Horizont des Profiles Schiffenberg geologisch bedingt sein. Die schwache Tonanreicherung in den B-Horizonten der Profile Daubringen, Am Gießener Stadtwald und Hangelstein II ist in dem erstgenannten Profil auf die Tonzerstörung im A_n-Horizont und die Verlagerung der Sesquioxide in den B-Horizont, in den Profilen Am Gießener Stadtwald und Hangelstein II auf die Tonverlagerung durch die Beteiligung niedermolekularer organischer Verbindungen als Ton - organische - Verbindungen zurückzuführen.

3. Die Austauschkapazität richtet sich nach der Verteilung der organischen und der anorganischen Kolloide. Sie ist daher in den A_n-Horizonten am höchsten und in den ton- und Sesquioxidreicheren Horizonten höher als in den an diesen Substanzen armen Horizonten.

Das geologische Substrat der Bodenbildung ist mit wenigen Ausnahmen basenarm. Infolge der Auswaschung der Metallkationen wird diese in den oberflächennahen Horizonten verstärkt (z.T. stark saure Bodenreaktion und geringer Basensättigungsgrad), während eine, wenn auch begrenzte, Basenanreicherung in den Unterböden einen pH- und Basensättigungsanstieg zur Folge haben. Besonders ausgeprägt ist dies in den Profilen Schiffenberg und Ilbenstadt.

Das Kationennachlieferungsvermögen, determiniert mittels der Elektro-Ultra-Filtration ist, infolge des niedrigen Basengehaltes, gering, zurückzuführen auf den geringen Gehalt alkali- und erdalkalihaltiger silikatischer Minerale, der Auswaschung der Metallkationen in dem wasserdurchlässigen Substrat und der geringen Sorptionskapazität.

4. Infolge der niedrigen Gehalte an Silikatmineralen des Ausgangsmaterials und der Si-Auswaschung im sauren Be-

reich, weisen alle Profile, abgesehen vom Profil Ilbenstadt, geringe Gehalte an NaOH-löslicher (= freier) Kieselsäure auf. Das Überwiegen freier Kieselsäure in den A_h -Horizonten bzw. Oberböden der Profile Daubringen, Am Gießener Stadtwald, Schiffenberg und Ilbenstadt gegenüber den Unterböden kann auf die höhere Verwitterungsintensität in den oberflächennahen Horizonten und die Akkumulation in Form von Bioopal zurückgeführt werden. Die Tendenz zur Verlagerung freier Kieselsäure ist, ausgenommen das Profil Gröbner, gering.

5. Gesamteisen, Gesamtaluminium und Ton weisen die gleiche Tiefenfunktion auf. Bei Verrechnung aller Horizonte sind die Beziehungen zwischen dem Ton und Gesamteisen bzw. Gesamtaluminium hochsignifikant positiv, da der Mineralbestand der gröberen Fraktionen überwiegend aus Quarz besteht.

Die Gehalte an freiem Eisen und freiem Aluminium koinzidieren in den Profilen Daubringen, Am Gießener Stadtwald, Ilbenstadt und Hangelstein II annähernd mit den Tongehalten. Die Akkumulation des freien Eisens und des freien Aluminiums im Unterboden obengenannter Profile ist in erster Linie der Ton-Sesquioxid-Verlagerung im Sinne der Lessivierung zuzuschreiben, wobei überwiegend kristallines freies Eisen von der Verlagerung erfaßt wird.

Der Anteil des kristallinen Eisens, am gesamten freien Bodeneisen ist, ausgenommen die Profile Daubringen und Am Gießener Stadtwald höher als der des amorphen Eisens. Die Aktivitätsgrade sind, abgesehen von dem Profil Schiffenberg, in den A_h -Horizonten wegen der kristallisationshemmenden Wirkung der organischen Substanz am höchsten und nehmen mit der Tiefe ab. Die Pseudovergleyung (Profil Schiffenberg) äußert sich ebenfalls in einem höheren Aktivitätsgrad des Stauwasserhorizontes.

Die Verteilung des amorphen Eisens läßt in dem B_g -Horizont

bzw. im Eisenband der Profile Gröbner und Hangelstein I sowie im B_{v2} -Horizont des Profiles Am Gießener Stadtwald auf eine Akkumulation lösungsschemisch verlagerten Eisens schließen. Die Korrelationsverrechnung aller Horizonte (ohne Profil Ilbenstadt) zeigt, daß das amorphe Eisen vor allem Komplexverbindungen mit Fulvosäuren bzw. säurelöslichen Nithuminstoffen und mobilen Fulvosäuren bildet, im geringeren Umfang dagegen mit Huminsäuren. Im Gegensatz zum amorphen Eisen ist zwischen dem NaOH-löslichen Aluminium und den verschiedenen Huminstoffen keine Beziehung festzustellen. Das in 0,05 n H_2SO_4 lösliche Eisen (aktive Eisen) gestattet, in Verbindung mit dem amorphen Eisen, weitere Aussagen hinsichtlich der pedogenen Prozesse Verwitterung und Translokation, wie das amorphe Eisen, so ist auch das aktive Eisen in den humosen Horizonten angereichert; sein Anteil am amorphen Eisen nimmt jedoch mit zunehmender Tiefe, ausgenommen Profil Ilbenstadt, zu. Dies kann als weiterer Hinweis für eine lösungsschemische Verlagerung angesehen werden.

Die Verteilung des säurelöslichen Aluminium zeigt eine Verlagerung in den Profilen Daubringen, Gröbner, Hangelstein I und II. Wegen des Einflusses der organischen Substanz auf die Aluminiumlöslichkeit einerseits und wegen der biologischen Akkumulation von Aluminium andererseits sind die Verhältnisse $Al_{H_2SO_4}/Al_{NaOH}$ in den A_h -Horizonten aller Profile am höchsten. Durch 0,05 n H_2SO_4 ist mehr Aluminium als Eisen gelöst worden. Von den säurelöslichen organischen Verbindungen wird bevorzugt Aluminium gebunden, weniger dagegen Eisen. Neben organisch gebundenen Eisen und Aluminium werden mittels 0,05 n H_2SO_4 auch Eisen und Aluminium anorganischer Verbindungen gelöst.

Abgesehen von dem B_g -Horizont und dem Eisenband 1 der Profile Gröbner und Hangelstein I gehen bei der Elektro-Ultrafiltration in den humosen A_h -Horizonten die höchsten Fe-

Anteile in Lösung, eine Folge der Wirkung organischer Substanzen auf die Mobilisierung des Eisens. Die Werte sind in den unter Wald liegenden Profilen höher als in denen unter Grasvegetation.

6. Das Solum der Profile Gröbner und Hangelstein I setzt sich aus mehreren hinsichtlich der Körnung unterschiedlichen Schichten zusammen. Die innerhalb der einzelnen Schichten auftretenden Ton-Sesquioxid- bzw. Sesquioxidbänder können als überwiegend pedogene Bildungen angesprochen werden, da sie in der Fein- und Grobsandfraktion das Körnungsspektrum der jeweiligen geologischen Schicht aufweisen.
7. Unter den im Raum Gießen herrschenden klimatischen Bedingungen wurden aus tertiären und quartären Lockersedimenten unter Nadel- und Mischwald sowie Grasvegetation Braunerden und solche mit z.T. unterschiedlich ausgeprägten podsoligen Merkmalen gebildet, die als schwachpodsoliierte Braunerden bzw. Podsol-Braunerden angesprochen werden können. Darüber hinaus ist in den Braunerden mit einer schwachen Tonverlagerung zu rechnen. Geologisch bedingte Tonschichten und hoher Grundwasserstand führten in einem Fall zur Bildung eines Pseudogley - Gleys, während eine Parabraunerde aus Löß in Richtung der Fahlerde tendiert. Die eingangs aufgeführten Profile wurden typologisch wie folgt eingeordnet:
 - a) Profil Daubringen: Podsol-Braunerde.
 - b) Profil Gröbner: Schwach podsoliierte Braunerde aus tertiären Ton - Eisen - Sandbändern.
 - c) Profil Hangelstein I: Podsol-Braunerde auf tertiären Ton - Eisen - Sandbändern.
 - d) Profil Am Gießener Stadtwald: Braunerde geringer Basensättigung.
 - e) Profil Schiffenberg: Pseudogley - Gley.
 - f) Profil Hangelstein II: Braunerde.
 - g) Profil Ilbenstadt: Parabraunerde.

9. Literaturverzeichnis

- | | |
|----------------------------------|--|
| ACQUAYE, D.K. and
TINSLEY, J. | Soluble silica in soils. In: HALLSWORTH, E.G. and CRAWFORD, D.V.: Experimental Pedology, Butterworths, London (1965), 126 - 148. |
| AKHTYRTSEV, B.P. | Role of lessivage in the formation of Gray Forest Soils in the southeastern part of the Central Chernozem Region.- Doklady Soil Sci.; A supplement to Soviet Soil Sci. <u>13</u> , 1598 - 1604 (1966). |
| ALEXANDROVA, L.N. | On the composition of humus substances and the nature of organo - mineral colloids in soil. - 7 th Intern. Congr. Soil Sci. Vol. II, 74 - 81, Madison (1960). |
| BARSHAD, I. | Chemistry of soil development. In: BEAR, F.E. Chemistry of the soil. - Reinhold Publ. Corp., New York, 1 - 70 (1964). |
| BECKER, E. | Stratigraphische und bodenkundliche Untersuchungen an jungpleistozänen und holozänen Ablagerungen im nördlichen Oberrheintalgraben. - Diss. Frankfurt, 1963. |
| BECKWITH, R.S. and
REEVE, R. | Studies on soluble silica in soils.
I. The sorption of silicic acid by soils and minerals. - Austr. J. soil res. <u>1</u> , 157 - 168 (1963). |
| -, - | II. The release of monosilicic acid from soils. - Aust. J. soil res. <u>2</u> , 33 - 45, (1964). |
| BLANCKENHORN, M. | Das Tertiär Niederhessens. Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. Heft <u>1</u> , 7 - 82 (1950). |
| BLOOMFIELD, C. | Iron and aluminium oxides in gley soils. - J. Soil Sci. <u>3</u> , 167 - 171 (1952). |
| -, - | A study of podsolisation: I. The mobilisation of iron and aluminium by scots pine needles. - J. soil Sci. <u>4</u> , 5 - 16 (1953). |

- BLOOMFIELD, C. A study of podsolation. 2. The mobilisation of iron and aluminium by the leaves and bark of *Agathis Australis* (Kauri). - J. Soil Sci. 4, 17 - 23 (1953 b).
- , - Rothamsted Exp. Sta. Rep. 1963, 226 (1964).
- BLÜMEL, F. Formen der Eisenoxydhydrat-Ausscheidungen in Gleyen und Pseudogleyen. Z. Pfl. Ernähr., Düng. u. Bodenkde. - 98, 258 - 264 (1962).
- BREBURDA, J. Entstehung von Böden mit Tondurchschlämmung in der Sowjetunion. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 111, 65 - 72 (1965).
- BRENNER, J.M. Some observations on the oxidation of soil organic matter in the presence of alkali. J. soil Sci. 1, 198 - 204 (1950).
- COEN, G.M. and PAWLUK, S. The origin of bands in sandy soils of the stony plain area. Canada. J. soil Sci. 46, 245 - 254 (1966).
- COULSON, C.B., DAVIES, R.I. and LEWIS, D.A. Polyphenols in plant, humus and soil. I. polyphenols of leaves, litter and superficial humus from mull and mor sites. J. Soil Sci. 11, 20 - 30 (1960).
- DEB, B.C. Movement and precipitation of iron oxides. J. Soil Sci. 1, 112 - 122 (1949).
- DOMMERGUES, Y. et DUCHAUFOUR, P. Etude comparative de la degradation biologique des complexes organo ferriques dans quelques types de sol. - Sci. sol 1, 43 - 59 (1965).
- DORMAAR, J.F. Polysaccharides in chernosemic soils of southern Alberta. - Soil Sci. 103, 417 - 423 (1967).
- DURBACH, P. und MEHTA, N.C. The chemistry of soil humus substance. - Soil a. Fertil. 26, 293 - 300 (1963).

- DURBACH, P.,
MEHTA, N.C. und
DEUEL, H. Schonende Extraktion von Huminstoffen
und Isolierung der Fulvosäure-Fraktion
aus verschiedenen Böden. - Z. Pfl.
Ernähr., Düng., u. Bodenkde. 102,
1 - 7 (1963).
- DUCHAUFOR, Ph.
et JACQUIN, F. Note sur l'évolution de la matière
organique dans les sols. - (Bemerkung
zur Entwicklung der org. Substanz im
Boden). Compt. Rend. Akad. Agric.
France, 45, 516 - 519 (1959).
- DUCHAUFOR, Ph. et
SOUCHIER, B. Zur Frage der Podsolierung und Profil-
differenzierung. - Pedologie 15,
143 - 158 (1965) (Französisch)
- FIEDLER, H.J. Die Untersuchungen der Böden. - Bd. II
Verlag Theodor Steinkopff, Dresden und
Leipzig (1966).
- FIEDLER, H.J. und
REISSIG, H. Lehrbuch der Bodenkunde. - VEB Gustav
Fischer Verlag Jena (1964).
- FIELDS, M. and
WILLIAMSON, K.I. New Zealand J. Sci. Technology B. 37,
314 - 335 (1955).
- FINCK, A. Tropische Böden. - Paul Parey (1963).
- FOLKS, H.C. and
RIECKEN, F.F. Physical and chemical properties of
some Iowa soil profiles with clay -
iron bands. - Proc. soil Sci. Soc.
America 20, 575 - 580 (1956).
- FOSTER, M. Geochemical studies of clay minerals:
III. The determination of free silica
and alumina in montmorillonites. -
Geochim. cosmochim. London, 3, 143 -
154 (1953).
- FREYTAG, H.E. Ein Beitrag zur Kenntnis der Humin-
säuresynthese. - A. - Thaer-Arch. 2,
584 - 603 (1961).
- GANSSEN, R. Grundsätze der Bodenbildung. - B. I.
Mannheim 327. Hochschultaschenbücher -
Verlag (1965).
- GANSSEN, R. und
HÄDRICH, F. Atlas zur Bodenkunde. B. I. - Hoch-
schulatlanten, 301 a - 301 e (1965).

- HALLSWORTH, E.G.
and COSTIN, A.B. Studies in pedogenesis in New South Wales: IV. The iron stone soils. - J. Soil Sci. 4, 24 - 46 (1953).
- HALLSWORTH, E.G.,
COSTIN, A.B. and
GIBBONS, F.R. Studies in pedogenesis in New South Wales/ VI. On the classification of soils showing features of podsol morphology. - J. Soil Sci. 4, 241 - 255 (1953).
- HARRIS, S.A. Soluble aluminium in plants and soils. - Nature, 189, 513 - 514 (1961).
- HEINEMANN, B. Die Böden der Drenthe - Grundmoräne im Hümmling. - Diss. Hannover (1964).
- HOHNE, H. Untersuchungen über die Pufferkraft und das C/N-Verhältnis der Streu von Waldbodenpflanzen, Sträuchern und Bäumen. - Arch. f. Forstwes. 12, 842 - 863 (1963).
- HOLLSTEIN, W. Bodenbildungsprobleme in Nordwestdeutschland. - Geol. Jb. 76, 1 - 10 (1959).
- HOOVER, M.D. and
LUNT, H.A. A key for the classification of forest humus types. - Proc. Soil Sci. America 16, 368 - 370 (1952).
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. - Prentice - Hall Inc. USA (1958).
- JUNG, L. und
ROHMER, W. Vergleichende Untersuchungen über die Eignung von Natriumpyrophosphat und Calgon zur Dispergierung von CaCO₃-haltigen sowie tonreichen Böden. Ztsch. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 7. Jahrg. H. 5, 268 - 273 (1966).
- JUNG, L. und
NEMETH, K. Untersuchungen über die Ionennachlieferung in einigen nordpersischen Böden. Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 113, 131 - 140 (1966).
- JUNG, L. und
NEMETH, K. Kationennachlieferung einiger Relikt-Roterden aus Basalten im westlichen Vogelsberg. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 122, 33 - 42 (1969).

- KNOBLICH, K. Geologische Geschichte und Untergrundverhältnisse des Stadtgebietes von Gießen. - Heimat im Bild, Gießener Anzeiger 50, (1966).
- KOHL, F. Die Bodenkarte 1 : 25 000, Anleitung und Richtlinien zu ihrer Herstellung. - Rotaprint Druck Fa. G. Jahnke, Hannover, (1965).
- KOHL, H. und SCHILLER, H. Jb. Oberösterreichische Musealverein. 108, 274 (1963).
- KONONOWA, M.M. Die Humusstoffe des Bodens. Deutscher Verlag der Wissenschaft, Berlin (1958).
- , - Soil organic matter. 2nd. English edition Pergamon Press, (1966).
- KONONOWA, M.M. und BELTSCHIKOVA, N.P. Vereinfachte Methode zur Bestimmung der Huminstoffgruppen von Mineralböden unter Verwendung von Natriumphosphat zur Extraktion der Huminstoffe. (russ.) Pochvovedenie, 10 (1961).
- KUBIENA, W.L. Beiträge zur Kenntnis des Gefüges kohärenter Bodenmassen. Bodenkunde u. Pflanzenern. 2 (47) 1936/37, 1 - 23.
- , - Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. F. Enke, Stuttgart, (1953).
- KUNDLER, P. Zur Charakterisierung und Systematik der Braunen Waldböden. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 78, 209 - 231 (1957).
- , - Bodenkunde. Teil 5 Leipzig (1961).
- , - Berücksichtigung der Übergänge zwischen den Braunerden und den Podsolen in der Bodensystematik. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 96, 62 - 70 (1962).
- KURON, H. Kolloidchemische und tonmineralogische Untersuchungen an zwei Profilen der Wesermarsch. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 92, 233 - 247 (1961).
- PREUSSE, H.U. und FÖHRENBACHER, A.

- KURON, H. und
PREUSSE, H.U. Über künstliche Eisenhydroxidgele
und deren Alterung. - Z. Pfl. Ernähr.,
Düng., Bodenkde. 100, 12 - 22 (1963).
- LAATSCH, W. Dynamik der mitteleuropäischen Mineral-
böden. Verlag von Theodor Steinkopff,
Dresden und Leipzig. (1957).
- LEHMANN, H.,
MEYER, B. und
SCHONLAU, H.J. Die divergierende Humus-Metabolik be-
nachbarter Sauer-Braunerden und Rend-
sinen unter Wald im Licht standorts-
biologischer Untersuchungen. - Göt-
tinger Bodenkundliche Berichte, 9,
1 - 63 (1969).
- LEVASHKEVICH, G.A. Interaktion of humic acids with iron
and aluminium hydroxides. - Sowjet
Soil Sci. 4, 422 - 427 (1966).
- LOUGHAN, F.C. Chemical weathering of the silicate
minerals. - American Elsevier Publ.
Comp., Inc., New York (1969).
- LÜDERS, R. Eine Entwicklun sreihe von der Para-
braunerde über den Pseudogley zum
Podsol im Goldenstedter Flottsand-
gebiet. - Z. Pfl. Ernähr., Düng.,
Bodenkde. 110, 126 - 134 (1965).
- MANING, M. Deutscher Wetterdienst Zentralamt.
Lufttemperaturmittel in Hessen, Periode
(1911 - 1955). Offenbach a.M. (1958).
- McKEAGUE, J.A. and
CLINE, M.G. Silica in soil solutions: I. The form
and concentration of dissolved silica
in aqueous extracts of some soils. -
Canad. J. Soil Sci. 43, 70 - 82 (1963).
- McKEAGUE, J.A. and
DAY, J.H. Dithionite- and oxalate-extractable Fe
and Al as aids in differentiating
various classes of soils. - Canad. J.
Soil Sci. 46, 13 - 22 (1966).
- MEHLICH, A. Determination of cation- and anion-
exchange properties of soils. - Soil
Sci. 66, 429 - 445 (1949).
- MERCK, E. AG. Komplexometrische Bestimmungsmethoden
mit Titriplex. 3. Auflage, Darmstadt.

- MEYER, F.H. Vergleichende Mikrobiologie und Mikromorphologie der Humusbildung eines Buchen- und Fichtenbestandes auf Basaltbraunerde. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 97, 234 - 243 (1962).
- MÜCKENHAUSEN, E. Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der BD. DLG - Verlag Frankfurt/M (1962).
- MUNSELL Soil color charts. Baltimore, USA. Edition (1954).
- OLSON, R.V. Iron solubility in soils as affected by pH and free iron content. - Proc. Soil Sci. Soc. Am. 12, 153 - 157 (1947).
- PAAS, W. Rezente und fossile Böden auf nieder-rheinischen Terrassen und deren Deckschichten. - Eiszeitalter u. Gegenwart, Bd. 12, 165 - 230 (1961).
- POSNER, A.M. The humic acids extracted by various reagents from a soil: I. Yield, inorganic components and titration curves. - J. Soil Sci. 17, 65 - 78 (1966).
- PREUSSE, H.U. Untersuchungen über die Tonkolloide verschiedener hessischer Böden. - Notizbl. hess. L.-amt Bodenforsch. 85, 334 - 379 (1957).
- , - Über das Eisen in Grundwasserfreien Böden unter Berücksichtigung leichtlöslicher organischer Substanzen. Habilitationsschrift, Gießen (1969).
- ROBINSON, G.R. and RICH, C.I. Characteristics of the multiple yellowish - red bands common to certain soils in the southeastern United States. - Proc. Sci. Soc. Am. 24, 226 - 230 (1960).
- SATTAR, M.A. Verlagerungsprozesse in durchschlämmten und pseudovergleyten Lössböden unter besonderer Berücksichtigung der pedogenen Oxide. Diss. Gießen (1967).
- SCHACHTSCHABEL, P. und HEINEMANN, G. Beziehungen zwischen P - Bindungsart und pH-Wert bei Lössböden. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 105, 1 - 13 (1964).

- SCHACHTSCHABEL, P. und HEINEMANN, G. Wasserlösliche Kieselsäure in Lößböden. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 118, 22 - 35 (1967).
- SCHACHTSCHABEL, P. und KOSTER, W. Chemische Untersuchungen an Marschen. II. Böden des Ems- und Weser-Jade-Gebietes. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 85, 140 - 151 (1959).
- SCHEFFER, F. und ULRICH, B. Humus und Humusdüngung. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1960).
- SCHEFFER, F., MEYER, B. und FÖLSTER, H. Dreischicht - Tonminerale mit Aluminium-Zwischenschichtbelegung in Mitteldeutschen sauren Braunen Waldböden. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 92, 201 - 207 (1961).
- SCHEFFER F. und SCHACHTSCHABEL, P. Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1966).
- SCHIRMER, H. Mittlere Monats- und Jahressummen des Niederschlags für Hessen und Randgebiete. (Zeitraum: 1891 - 1955). - Deutscher Wetterdienst Zentralamt, Offenbach/M. (1959).
- SCHLICHTING, E. und BLUME, H.P. Das typische Bodenprofil auf jungpleistozänem Geschiebemergel in der westbaltischen Klimaprovinz und seine grundsätzliche Deutung. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 95, 193 - 208 (1961).
- , - Art und Ausmaß der Veränderungen des Bestandes mobiler Oxide in Böden aus jungpleistozänem Geschiebemergel und ihrer Horizonte. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 96, 144 - 156 (1962).
- , - Bodenkundliches Praktikum. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin (1966).
- SCHNITZER, M. Interaktion of iron with rainfall leachates. - J. Soil Sci. 10, 300 - 308 (1959).
- SCHNITZER, M. and WRIGHT, J.R. Extraction of organic matter from podsollic soils by means of dilute inorganic acids. - Canad. J. Soil Sci. 37, 89 - 95 (1957).

- SCHÖNHALS, E. Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Hess. L.-Amt f. Bodenforsch., Wiesbaden (1954).
- SCHOTTLER Erläuterungen zur Geologischen Karte des Großherzogtums Hessen. Blatt Allendorf (a.d.Lumda). Damrstadt (1913).
- SCHROEDER, D. Untersuchungen über Verwitterung und Bodenbildung an Lößprofilen. Habilitationsschrift, Hannover (1954).
- SCHWERTMANN, U. Die fraktionierte Extraktion der freien Eisenoxide in Böden, ihre mineralogischen Formen und ihre Entstehungsweisen. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 84, 194 - 204 (1959).
- , - Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 105, 194 - 202 (1964).
- , - Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallisation of amorphous ferric hydroxide. - Nature 212, 645 - 646 (1966).
- SCHWERTMANN, U. Bodenfarbe und Eisenoxidform. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 115, 209 - 214 (1966).
- SCHUYLENBORGH, van J. Die Verlagerung von Sesquioxiden in Parabraunerden, Podsolen und Sauren Braunerden. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 114, 9 - 12 (1966).
- SPRINGER, U. Zur Charakteristik der Dauerhumus-Komponente in Bodentypen. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 59, 285 - 295 (1952).
- SPRINGER, U. und KLEE, J. Prüfung der Leistungsfähigkeit von einigen wichtigeren Verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffs mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 63, (1954).
- STRAUTZ, W. Der Einfluß des Wasserhaushaltes auf die Bodentypenentwicklung im Löß. - Diss. Hannover (1962).

- TAN, K.H. On the pedogenetic role of organic matter in volcanic ash soils under tropical conditions. Soil Sci. Pl. Nutr. 12, 80 - 84 (1966).
- THUN, R., HEHRMANN, R. Die Untersuchung von Böden. Band I. und KNICKMANN, E. Neumann Verlag Berlin (1955).
- TÜXEN, R. Schrift des Bodens. - Angewandte Pflanzensoziologie, H. 24, Stolzenau Weser (1957).
- WALTER, H. und LIETH, H. Klimadiagramm - Weltatlas. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena (1964).
- WELTE, E. Fragen zur praktischen Humusforschung. Die deutsche Landwirtschaft, H. 6, 433 - 438 (1955).
- WEYL, R. Geologische Führung durch die Umgebung von Gießen. Mittelhess. Druck- und Verlagsgesellsch. mbH, Gießen (1967).
- WIECHMANN, H. Einfluß der Pseudovergleyung auf verschiedene chemische Eigenschaften von Lösböden. - Z. Pfl. Ernähr., Düng., Bodenkde. 120, 20 - 31 (1968).
- WITTIG, W. Der heutige Stand unseres Wissens vom Humus und neue Wege zur Lösung des Rohhumusproblems im Walde. - Schriftreihe d. Forstl. Fak. Göttingen 4, (1952).
- WRIGHT, J.R. and SCHNITZER, M. Metallo-organic interactions associated with podsolation. - Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 27, 171 - 176 (1963).
- WURMAN, E., WHITESIDE, E.P. and HORTLAND, M.M. Properties and genesis of finer textured subsoil bands in some sandy Michigan soils. - Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 23, 135 - 143 (1959).
- ZIECHMAN, W. und MEYER, R. Zur Chemie der Huminsäure - Vorstufen. - 7th Inter. Congr. Soil Sci. Vol. II, 105 - 111 Madison (1960).

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. L. JUNG, danke ich für die Überlassung des Themas, für vielseitige Anregung, sowie für seine stete Unterstützung in jeder Hinsicht.

Weiterhin möchte ich Herrn Professor Dr. E. SCHÖNHALS für die kritische Durchsicht des Manuskripts meinen Dank abstaten. Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Priv. Doz. Dr. H.U. PREUSSE für seine wertvollen Ratschläge und Hinweise, sowie für seine Anregung bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Herrn Dr. W. ROHMER und Herrn Dr. K. NEMETH bin ich für die Hilfe bei der Auswahl der Profile und Durchführung der Laborarbeiten zu Dank verpflichtet.

Frau G. SIEDOW und Frl. U. SCHULTHEIS danke ich für die unermüdliche Hilfe bei der sauberen Durchführung der Schreibarbeiten und der Zeichnungen.

L e b e n s l a u f

Am 15. 2. 1937 wurde ich, Laith Khalil I s m a i l , in Mosul/Irak als Sohn des Arztes Khalil Ismail und dessen Frau Hagar, geb. Abdulla, geboren.

Von 1943 bis 1949 besuchte ich die Al-Falah-Volksschule, von 1949 bis 1952 die Al-Muthana-Mittelschule, anschließend die Zentral-Secondary-School in Mosul, wo ich 1954 das Baccalaureat ablegte. Von 1954 bis 1958 studierte ich an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bagdad und bestand im Juni 1958 das Schlußexamen (B. Sc. Agr./Pflanzenproduktion). Nach acht Monaten Militärdienst arbeitete ich zwei Jahre als Beamter im Landwirtschaftlichen Ministerium. Im Dezember 1961 kam ich nach Deutschland. Nach Erlernung der deutschen Sprache an dem Goethe-Institut in Brilon immatrikulierte ich mich im Sommersemester 1962 bei der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen und legte dort im Juni 1964 die Diplomprüfung (Sozial- und Wirtschaftswissenschaften der Landwirtschaft) ab. Im Wintersemester 1965/1966 immatrikulierte ich mich bei der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Gießen, wo ich im Oktober 1966 die Ergänzungsprüfung ablegte. Im November 1966 begann ich als Doktorand am Tropeninstitut/Abteilung Bodenkunde und Bodenerhaltung mit der Durchführung folgender Arbeit.

FOTO-DRUCK LENZ · 63 Gießen · Riegelpfad 32/ Ecke Ludwigstraße
Telefon 0641-77449